รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ

วิทยานิพนธ์

ของ

กิตติพล ขาวงาม

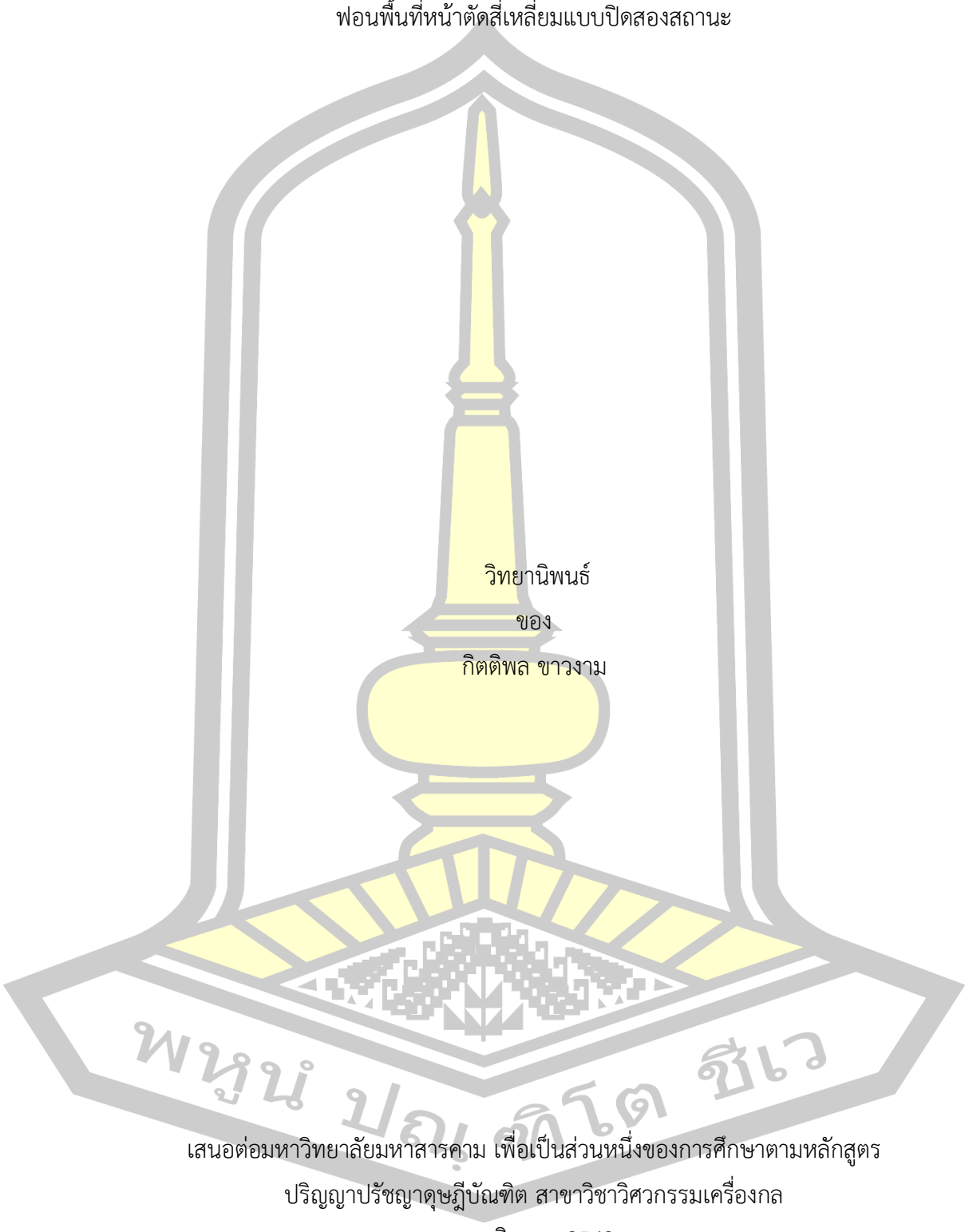
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤศจิกายน 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ



วิทยานิพนธ์

ของ

กิตติพล ขาวงาม

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤศจิกายน 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

INTERNAL FLOW PATTERNS CONDENSER SECTION ON HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF TWO-PHASE CLOSED RECTANGULAR CROSS SECTIONAL AREA THERMOSYPHON

Kittipon Khaongam

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

November 2025

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายกิตติพล ขาวงาม แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ. ดร. นิพนธ์ ภูวเกียรติกำจร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รศ. ดร. ธีรพัฒน์ ชมภูคำ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รศ. ดร. ธัญญา ปรเมษฐานุวัฒน์)

.....กรรมการ
(รศ. ดร. บพิธ บุปผโชติ)

.....กรรมการ
(รศ. ดร. เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล)

.....กรรมการ
(รศ. ดร. พิทักษ์ พร้อมไธสง)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....	.....
(รศ. ดร. จักรมาส เลาหวณิช)	(ผศ. ดร. พลเดช เชาวรัตน์)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ

ผู้วิจัย กิตติพล ขาวงาม

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรพัฒน์ ชมภูคำ
รองศาสตราจารย์ ดร. ธัญญา ปรเมษฐานุวัฒน์

ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

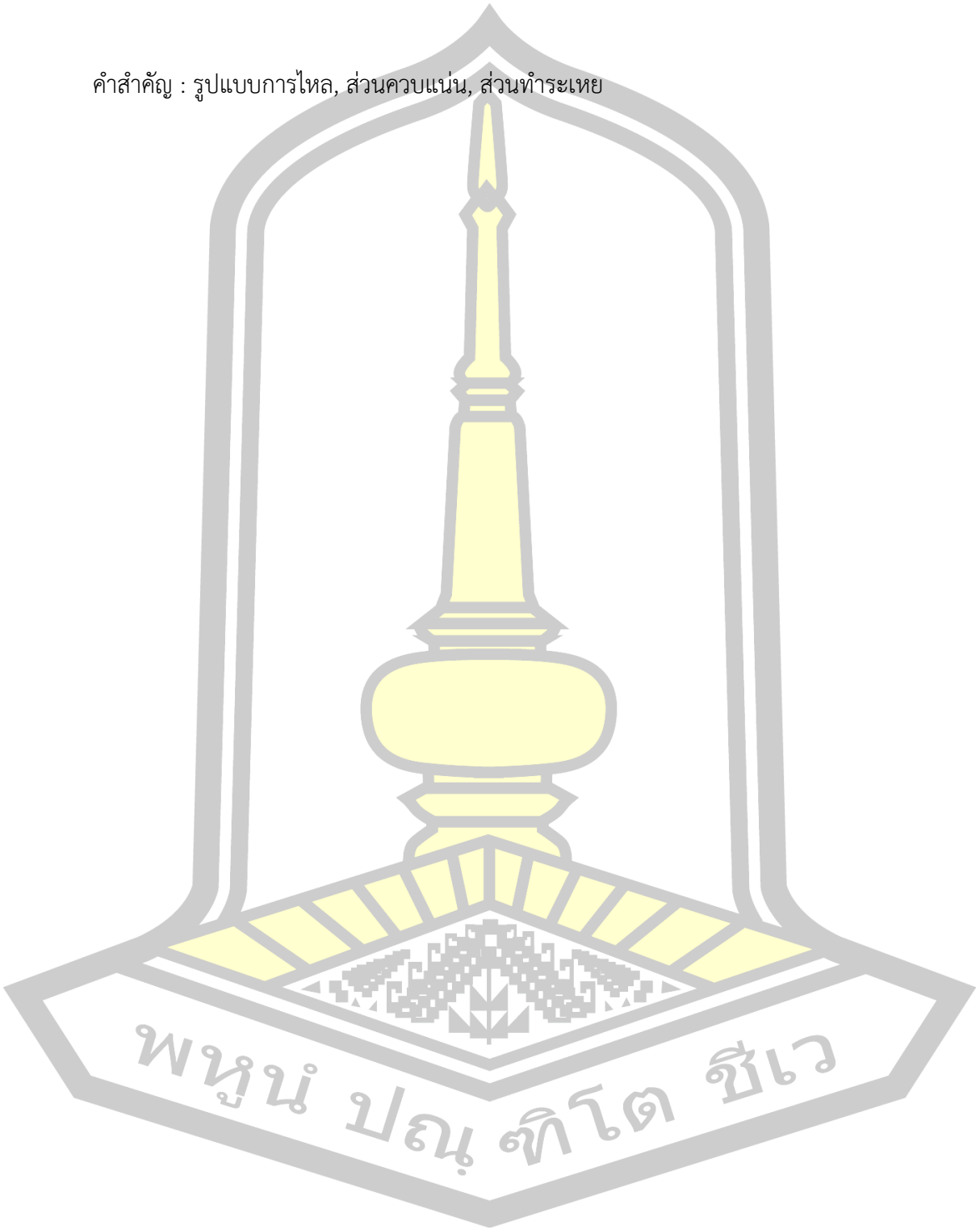
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2568

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษารูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) เส้นสัมผัสเปียก ขนาด X และ Y 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 70, 80 และ 90° อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C.อุณหภูมิส่วนควบแน่นคงที่ 20 °C สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราการเติม 50 % ของส่วนทำระเหย ผลการทดลองพบ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C ไม่มีการไหลทั้งสองส่วน อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 และ 90°C การไหลส่วนควบแน่น อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล พบ แบบหยด (DW), แบบฟิล์ม (FW) และแบบย้อนกลับ (RV). สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) พบ แบบผันผวน (FL), แบบหยด (DW) และแบบย้อนกลับ(RV). การไหลส่วนทำระเหย สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 พบ แบบฟอง (BF) , แบบก้อน (SF) และแบบโพรง (CF). อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 และ 20 พบแบบฟอง (BF) , แบบก้อน (SF), แบบโพรง (CF) และแบบวงแหวน (AF). อุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C พบ แบบแยกชั้น (STF). มุมเอียง 70 และ 80° สารทำงาน เอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 พบแบบฟอง (BF) และแบบโพรง (SF). ให้ค่าโมเมนตัมฟลักซ์สถานะของเหลวและไอดีกว่า น้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล มุมเอียง 80° ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ามุมเอียง 70 และ 90°

อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 8.16 kW/m^2

คำสำคัญ : รูปแบบการไหล, ส่วนควบแน่น, ส่วนทำระเหย



TITLE INTERNAL FLOW PATTERNS CONDENSER SECTION ON HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF TWO-PHASE CLOSED RECTANGULAR CROSS SECTIONAL AREA THERMOSYPHON

AUTHOR Kittipon Khaongam

ADVISORS Associate Professor Teerapat Chompookham , D.Eng.

Associate Professor Thanya Parametthanuwat , Ph.D.

DEGREE Doctor of Philosophy **MAJOR** Mechanical Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2025

ABSTRACT

This thesis studies the internal flow patterns in the condenser and evaporator sections that affect the heat transfer characteristics of a rectangular two-phase closed thermosyphon (RTPCT) with wetting contact lines and cross-sectional dimensions X and Y of 25.2 mm. The aspect ratios (AR) are 5, 10, and 20, with inclination angles of 70°, 80°, and 90°. The temperature of the evaporator is 50, 70, and 90 °C; the condenser temperature is constant at 20°C. The working fluids are 1. deionized water (DI), 2. deionized water (DI) mixed with silver nanoparticles at a concentration of 0.5 wt% (NP) containing 1 wt% oleic acid (OA); the NP is mixed with potassium oleate at a concentration of 1 wt% (OAK^+), and 3. ethanol filled at 50 % of the evaporator volume. The experimental results show that at an evaporator temperature of 50 °C, there is no flow in both sections. At evaporator temperatures of 70 and 90 °C, the condenser section exhibits the following flow patterns depending on the aspect ratios (AR) of 5, 10, and 20. Working fluid deionized water (DI) and ethanol found dropwise flow (DW), film-wise (FW), and reverse flow (RV). Working fluid deionized water (DI) mixed with silver nanoparticles at a concentration of 0.5 wt% (NP) containing 1 wt% oleic acid (OA); NP mixed with potassium oleate at a concentration of 1 wt% (OAK^+) found fluctuating (FL), droplet-wise (DW), and reverse flow (RV). In the evaporator section, with working fluid deionized water (DI) At aspect ratio (AR) 5 found bubble flow (BF), slug flow (SF), and churn flow (CF) were

found. At aspect ratios (AR) of 10 and 20 found bubble flow (BF), slug flow (SF), churn flow (CF), and annular flow (AF) were found. At evaporator temperature 90°C found stratified flow (STF) was found. At inclination angles of 70° and 80°, with working fluids ethanol and deionized water (DI) mixed with silver nanoparticles at a concentration of 0.5 wt% (NP) containing 1 wt% oleic acid (OA); NP mixed with potassium oleate at a concentration of 1 wt% (OAK^+), and aspect ratios (AR) of 5, 10, and 20 found bubble flow (BF) and churn flow (CF) are observed. These provide better momentum flux in the liquid and vapor phases than using deionized water (DI) and ethanol alone. The inclination angle of 80° provides a higher heat transfer rate than 70° and 90°. The maximum heat transfer rate per unit area is 8.16 kW/m².

Keyword : flow patterns, condenser section, evaporator section

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ซึ่งผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา ปรเมษฐานุวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.บพิธ บุปผโชติ กรรมการสอบ และ รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล กรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ พร้อมไธสง กรรมการสอบ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ ที่คอยให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการทำวิจัย และ รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา ปรเมษฐานุวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเนื้อหาในงานวิจัยจนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ภูวเกียรติกำจร ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำแนะนำแนวทางสำหรับเพิ่มเติมและแก้ไขเนื้อหาภายในเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยท่อความร้อนและออกแบบอุปกรณ์ทางความร้อน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งได้กรุณาอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์สำหรับการทดลอง ทำให้การดำเนินงานวิจัยเป็นไปอย่างราบรื่นและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อนิคม ขาวงาม คุณแม่ปราณี ขาวงาม และคุณกันตยา ขาวงาม อาจารย์ ดร.ณรงค์ สีหาจ่อง ศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภา แคนสี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ ศิริวรรณ ที่เป็นแบบอย่างของความอดทนความมุมานะ และความพยายามอย่างเป็นที่สุด อีกทั้งยังคอยผลักดัน ทางการศึกษาให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจเสมอมา ซึ่งเป็นสิ่งที่มีค่าอย่างมากสำหรับข้าพเจ้า จนทำให้ข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษามาได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ นิสิตปริญญาเอก และพี่หญิง นางสาววรินญา ชื่นใจ ที่คอยแนะนำเรื่องของการเรียนให้คำแนะนำนิสิตปริญญาเอก ของหน่วยงานคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม รวมไปถึงเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน

หากเนื้อหาหรือข้อมูลต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจศึกษาและผู้ทำการวิจัยท่านอื่นๆ ผู้วิจัยขอยกคุณความดีทั้งหลายนี้ ให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมาท้ายที่สุดหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่อง หรือผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

กิตติพล ขาวงาม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ซ

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญภาพประกอบ ..... ฝ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 8

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 8

1.4 ความสำคัญของการวิจัย 9

บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล 10

2.1 ทฤษฎีและหลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ 10

2.2 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) 13

2.3 รูปแบบการไหลสองสถานะ 29

2.4 แผนภูมิรูปแบบการไหล 38

2.5 ตัวแปรไร้มิติ 41

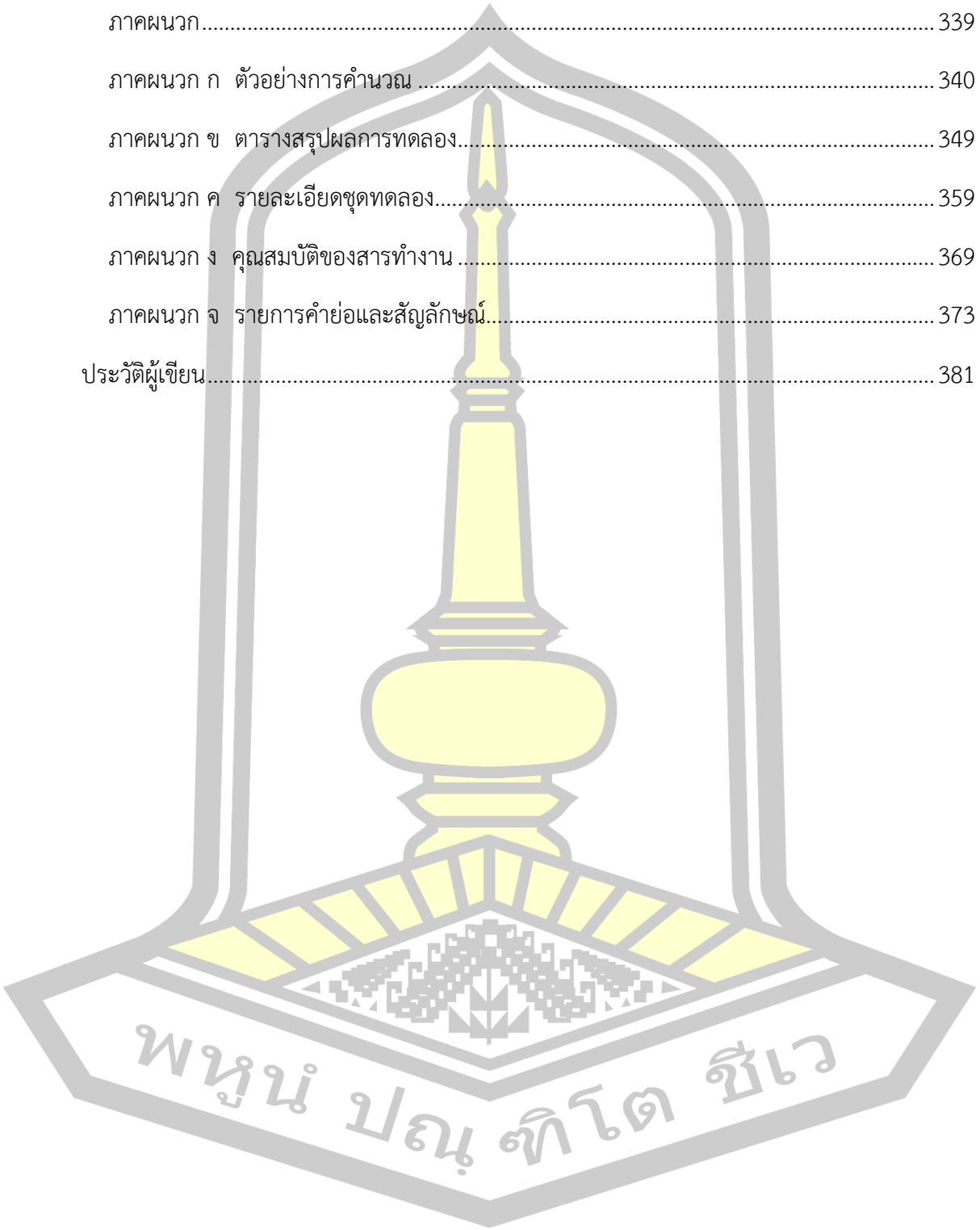
2.6 นาโนเทคโนโลยีและสารทำงานระดับอนุภาคนาโน 45

2.7 สารลดแรงตึงผิว 48

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 50

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 73
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 73
3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 74
3.3 การสร้างเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) 84
3.4 การเตรียมสารนาโนฟลูอิด 89
3.5 ชุดทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ 90
3.6 การทดลองรูปแบบการไหลภายในที่ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) 93
3.7 ขั้นตอนการทดลอง 94
3.8 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 95
3.9 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 98
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย 104
4.1 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและอัตราส่วนสนทัดต่อรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น และส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) 105
4.2 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและอัตราส่วนสนทัดต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) 237
4.3 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) 257
4.4 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) 275
4.5 ผลของตัวแปรไร้มิติที่มีต่อค่าคอนเดนเซชันของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) 300
4.6 แผนภูมิรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอน พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) 307
บทที่ 5 บทสรุป 310
5.1 สรุปผลการทดลอง 310

บรรณานุกรม..... 313
ภาคผนวก..... 339
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ..... 340
ภาคผนวก ข ตารางสรุปผลการทดลอง..... 349
ภาคผนวก ค รายละเอียดชุดทดลอง..... 359
ภาคผนวก ง คุณสมบัติของสารทำงาน..... 369
ภาคผนวก จ รายการคำย่อและสัญลักษณ์..... 373
ประวัติผู้เขียน..... 381



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 คุณลักษณะทั่วไปของแร่ธาตุเงิน [32] 47

ตาราง 2.2 ความดันไอของแร่ธาตุเงิน [32] 47

ตาราง 2.3 คุณสมบัติของอะตอมของแร่ธาตุเงิน [32] 48

ตาราง 2.4 คุณสมบัติทางความร้อนของแร่ธาตุเงิน [32] 48

ตาราง 2.5 คุณสมบัติทั่วไปของกรดโอเลอิก [32] 50

ตาราง 3.1 แสดงรายละเอียดของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมที่ใช้ในการทดลอง 86

ตาราง 4.1 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 107

ตาราง 4.2 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง) 108

ตาราง 4.3 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 111

ตาราง 4.4 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง) 112

ตาราง 4.5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 115

ตาราง 4.6 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง) 116

ตาราง 4.7 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 119

ตาราง 4.8 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง) 120

ตาราง 4.9 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 123

ตาราง 4.10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง) 124

ตาราง 4.11 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 127

ตาราง 4.12 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง) 128

ตาราง 4.13 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 131

ตาราง 4.14 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ) 132

ตาราง 4.15 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง) 133

ตาราง 4.16 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ) 134

ตาราง 4.17 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)..... 137

ตาราง 4.18 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ) 138

ตาราง 4.19 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)..... 139

ตาราง 4.20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ) 140

ตาราง 4.21 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)..... 143

ตาราง 4.22 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ) 144

ตาราง 4.23 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)..... 145

ตาราง 4.24 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ) 146

ตาราง 4.25 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)..... 149

ตาราง 4.26 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)..... 150

ตาราง 4.27 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)..... 153

ตาราง 4.28 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)..... 154

ตาราง 4.29 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)..... 157

ตาราง 4.30 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่

ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)..... 158

ตาราง 4.31 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)..... 161

ตาราง 4.32 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 162

ตาราง 4.33 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)..... 163

ตาราง 4.34 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 164

ตาราง 4.35 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)..... 167

ตาราง 4.36 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C

อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 168

ตาราง 4.37 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)..... 169

ตาราง 4.38 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 170

ตาราง 4.39 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)..... 173

ตาราง 4.40 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 174

ตาราง 4.41 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)..... 175

ตาราง 4.42 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 176

ตาราง 4.43 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)..... 179

ตาราง 4.44 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 180

ตาราง 4.45 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)..... 181

ตาราง 4.46 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 182

ตาราง 4.47 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่

ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)..... 185

ตาราง 4.48 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 186

ตาราง 4.49 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)..... 187

ตาราง 4.50 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 188

ตาราง 4.51 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)..... 191

ตาราง 4.52 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 192

ตาราง 4.53 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C

อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)..... 193

ตาราง 4.54 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)..... 194

ตาราง 4.55 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล..... 197

ตาราง 4.56 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)..... 198

ตาราง 4.57 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล..... 201

ตาราง 4.58 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)..... 202

ตาราง 4.59 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล..... 205

ตาราง 4.60 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)..... 206

ตาราง 4.61 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล 209

ตาราง 4.62 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง) 210

ตาราง 4.63 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล 213

ตาราง 4.64 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง) 214

ตาราง 4.65 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล 217

ตาราง 4.66 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง) 218

ตาราง 4.67 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล 221

ตาราง 4.68 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ) 222

ตาราง 4.69 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง) 223

ตาราง 4.70 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ) 224

ตาราง 4.71 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล 227

ตาราง 4.72 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ) 228

ตาราง 4.73 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง) 229

ตาราง 4.74 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ) 230

ตาราง 4.75 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล 233

ตาราง 4.76 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ) 234

ตาราง 4.77 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง) 235

ตาราง 4.78 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ) 236

ตาราง ข.1 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น..... 350

ตาราง ข.2 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย 350

ตาราง ข.3 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น..... 351

ตาราง ข.4 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้าน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย..... 351

ตาราง ข.5 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น..... 352

ตาราง ข.6 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย 352

ตาราง ข.7 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น 353

ตาราง ข.8 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย..... 353

ตาราง ข.9 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น 354

ตาราง ข.10 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย 354

ตาราง ข.11 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น 355

ตาราง ข.12 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย 355

ตาราง ข.13 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น 356

ตาราง ข.14 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย 356

ตาราง ข.15 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น 357

ตาราง ข.16 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย..... 357

ตาราง ข.17 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น..... 358

ตาราง ข.18 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย..... 358

ตาราง ง.19 คุณสมบัติของน้ำ [209] 370

ตาราง ง.20 คุณสมบัติของน้ำ (ต่อ) [209] 371

ตาราง ง.21 คุณสมบัติของเอทานอล Ethanol [210] 372

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1.1 เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดกลมแบบปิดสองสถานะ TPCT [10]..... 1

ภาพประกอบ 1.2 ลักษณะของ TPCT ที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดกลมที่จะทำการศึกษาในครั้งนี้ยึดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.2 mm (ก) พื้นที่หน้าตัดกลม TPCT (ข) เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม RTPCT (ค) หน้าตัดกลมและหน้าตัดสี่เหลี่ยม..... 2

ภาพประกอบ 1.3 โครงสร้างและหลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) [10]..... 3

ภาพประกอบ 1.4 ภาพหน้าตัดท่อเทอร์โมไซฟอนแบบแบน (FTPCT) [26]..... 5

ภาพประกอบ 1.5 เปรียบเทียบพื้นที่หน้าสัมผัสเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยม [14]..... 6

ภาพประกอบ 2.1 แสดงการไหลเวียนของสารทำงานภายใน RTPCT โดยไอเคลื่อนขึ้นสู่ส่วนระบายความร้อนและของเหลวไหลกลับสู่ส่วนรับความร้อน [10]..... 11

ภาพประกอบ 2.2 เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมเอียงแบบปิดสองสถานะ..... 12

ภาพประกอบ 2.3 แบบจำลองความต้านทานทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม RTPCT..... 14

ภาพประกอบ 2.4 วงจรความต้านทานทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม RTPCT..... 15

ภาพประกอบ 2.5 อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม [34]..... 20

ภาพประกอบ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำเทียบกับความลึก [34]..... 21

ภาพประกอบ 2.7 ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน [7]..... 22

ภาพประกอบ 2.8 การแห้งเหือดเมื่อเติมปริมาณสารทำงานน้อยเกินไป [7]..... 24

ภาพประกอบ 2.9 การแห้งเหือดเมื่อเติมปริมาณสารทำงานมากเกินไป [7]..... 24

ภาพประกอบ 2.10 เทอร์โมไซฟอนที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (DGCST) พื้นที่หน้าตัดกลม (TPCT) เป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ของเทอร์โมไซฟอน..... 28

ภาพประกอบ 2.11 รูปแบบการไหลสองสถานะ [39]..... 30

ภาพประกอบ 2.12 รูปแบบการไหลภายในท่อกลมแนวระดับ [41] 31
ภาพประกอบ 2.13 รูปแบบการไหลแบบหยด เทียบผลการทดลองของ [42] 32
ภาพประกอบ 2.14 รูปแบบการไหลแบบฟิล์ม เทียบผลการทดลองของ [42] 33
ภาพประกอบ 2.15 รูปแบบการไหลแบบย้อนกลับ เทียบผลการทดลองของ [42] 33
ภาพประกอบ 2.16 รูปแบบการไหลแบบผันผวน เทียบผลการทดลองของ [42] 34
ภาพประกอบ 2.17 รูปแบบการไหลแบบหยด ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) .. 35
ภาพประกอบ 2.18 รูปแบบการไหลแบบฟิล์ม ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) .. 35
ภาพประกอบ 2.19 รูปแบบการไหลแบบย้อนกลับ ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) 35
ภาพประกอบ 2.20 รูปแบบการไหลแบบผันผวน ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) 36
ภาพประกอบ 2.21 รูปแบบการไหลแบบหยด เทียบผลการทดลองของ [58] 36
ภาพประกอบ 2.22 รูปแบบการไหลแบบฟิล์ม เทียบผลการทดลองของ [58] 37
ภาพประกอบ 2.23 รูปแบบการไหลแบบย้อนกลับ เทียบผลการทดลองของ [58] 37
ภาพประกอบ 2.24 แผนภูมิรูปแบบการไหลของ [41] 39
ภาพประกอบ 2.25 แสดงการจัดกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) โดยแยกเป็นกลุ่มกลไกการถ่ายเทความร้อน และกลไกการไหลของของไหล 42
ภาพประกอบ 2.26 อนุภาคของผงเงินอนุภาคระดับนาโน 46
ภาพประกอบ 2.27 ลักษณะของอนุภาคผงเงิน 47
ภาพประกอบ 2.28 สารลดแรงตึงผิว [32] 49
ภาพประกอบ 2.29 กรดโอเลอิก [32] 49
ภาพประกอบ 3.1 ท่อสแตนเลสสตีล Stainless steel AISI-304 75
ภาพประกอบ 3.2 ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ และเกจวัดความดัน 75
ภาพประกอบ 3.3 แผ่นกันความร้อน 76
ภาพประกอบ 3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ (HIOKI) รุ่น 8422-51MEMORY HILOGGER 76

ภาพประกอบ 3.5 ช่องรับสัญญาณเครื่องวัดอุณหภูมิ 77
ภาพประกอบ 3.6 เทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อ OMEGA Type-K..... 77
ภาพประกอบ 3.7 ชุดการเติมสารทำงาน..... 78
ภาพประกอบ 3.8 เครื่องทำสุญญากาศ..... 78
ภาพประกอบ 3.9 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด OHAUS 79
ภาพประกอบ 3.10 กระบอกตวงสารทำงาน 79
ภาพประกอบ 3.11 ปั๊มลมเพื่อทดสอบการรั่ว..... 80
ภาพประกอบ 3.12 ชุดเชื่อมเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 80
ภาพประกอบ 3.13 กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวยี่ห้อ Fuji file รุ่น Fuji HS10..... 81
ภาพประกอบ 3.14 เครื่องมือวัดอัตราการไหล 81
ภาพประกอบ 3.15 เครื่องทำน้ำเย็น (Cooling bath)..... 82
ภาพประกอบ 3.16 เครื่องทำความร้อน (Hot bath)..... 82
ภาพประกอบ 3.17 ท่อน้ำสายยาง (Hose)..... 83
ภาพประกอบ 3.18 แท่นติดตั้งและทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) 83
ภาพประกอบ 3.19 พื้นที่ผิวด้านนอกของการไหล/เส้นสัมผัสเปียก..... 84
ภาพประกอบ 3.20 ลักษณะของเทอร์โมไซฟอน..... 84
ภาพประกอบ 3.21 ท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)..... 85
ภาพประกอบ 3.22 ด้านหน้าของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)..... 85
ภาพประกอบ 3.23 จำนวนเทอร์โมไซฟอน RTPCT ที่สร้างขึ้นสำหรับการทดลอง 3 ท่อ 86
ภาพประกอบ 3.24 การประกอบเทอร์โมไซฟอนเมื่อทำตามขั้นตอนจะได้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)..... 87
ภาพประกอบ 3.25 แผนผังการเติมสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะโดยใช้ปั๊มสุญญากาศสำหรับเติมสารทำงาน [86]..... 88
ภาพประกอบ 3.26 ตำแหน่งน้ำเข้าเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) 90

ภาพประกอบ 3.27 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) 91

ภาพประกอบ 3.28 ประกอบกระเปาะชุดให้ความร้อนในส่วนทำระเหยและชุดระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นทำจากแผ่นอะคริลิคใส 92

ภาพประกอบ 3.29 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) 93

ภาพประกอบ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน 237

ภาพประกอบ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 80° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน 239

ภาพประกอบ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 90° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน 241

ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน 243

ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 80° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน 245

ภาพประกอบ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 90° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น

0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน 248

ภาพประกอบ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน..... 250

ภาพประกอบ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 80° กับแนวระดับ ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน..... 252

ภาพประกอบ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 90° กับแนวระดับ ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน..... 254

ภาพประกอบ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ..... 257

ภาพประกอบ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ..... 259

ภาพประกอบ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ..... 261

ภาพประกอบ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ..... 263

ภาพประกอบ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับ

โพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ 265

ภาพประกอบ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ 267

ภาพประกอบ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ 269

ภาพประกอบ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ 271

ภาพประกอบ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ 273

ภาพประกอบ 4.19 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 มุมเอียง 70° 275

ภาพประกอบ 4.20 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 มุมเอียง 80° 277

ภาพประกอบ 4.21 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1

wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 มุมเอียง 90° 279

ภาพประกอบ 4.22 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 มุมเอียง 70° 282

ภาพประกอบ 4.23 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 มุมเอียง 80° 284

ภาพประกอบ 4.24 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 มุมเอียง 90° 287

ภาพประกอบ 4.25 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 มุมเอียง 70° 289

ภาพประกอบ 4.26 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 มุมเอียง 80° 292

ภาพประกอบ 4.27 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำ

ปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 มุมเอียง 90°..... 294

ภาพประกอบ 4.28 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เมื่อเทียบกับผลงานของนักวิจัยนี้..... 297

ภาพประกอบ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขบอนด์ (Bo) กับตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล..... 301

ภาพประกอบ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแพรนตัน (Pr) กับตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล..... 303

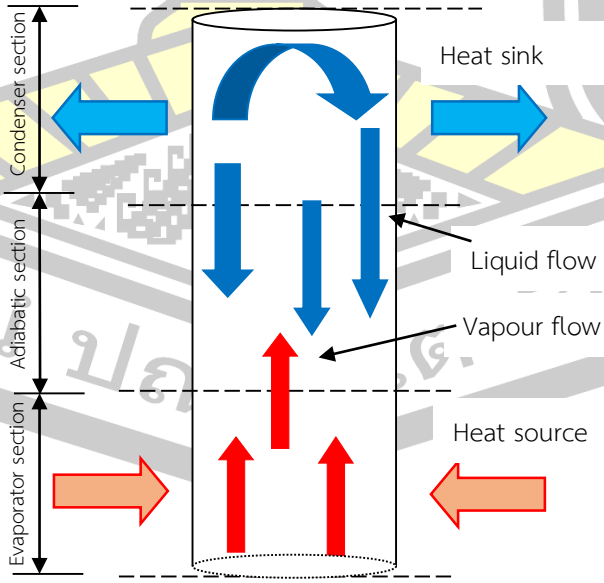
ภาพประกอบ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขจาคอบ (Ja) กับตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล..... 305

ภาพประกอบ 4.32 แผนภูมิรูปแบบการไหลภายในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ RTPCT โดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลวและไอ..... 307

บทที่ 1
บทนำ

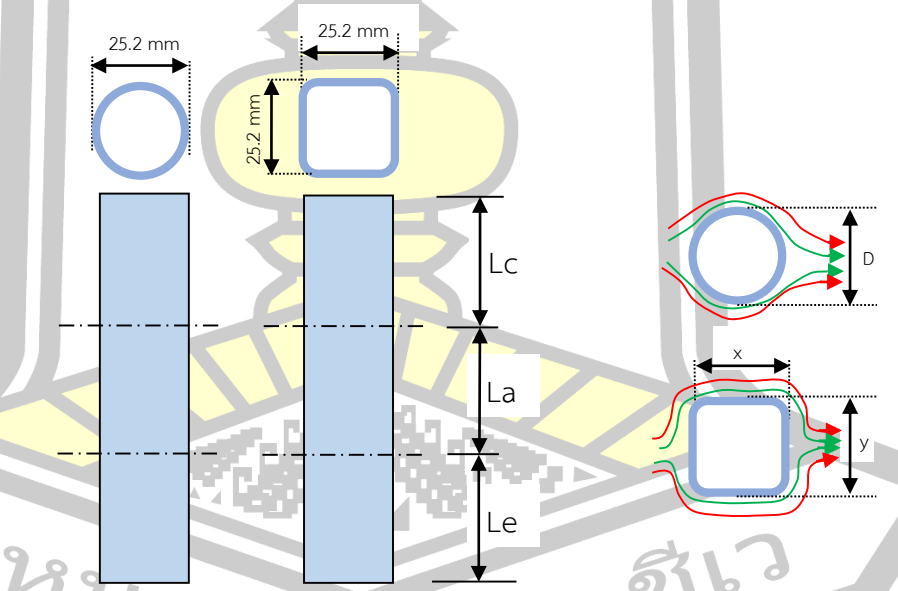
1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันพลังงานซึ่งเป็นปัจจัยที่จำเป็นอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั่วไป มีแนวโน้มลดน้อยลง เนื่องจากประชากรบนโลกมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น และความต้องการที่จะนำพลังงานมาพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมของประเทศเพิ่มขึ้น [1] ก่อให้เกิดวิกฤติการณ์ในด้านการใช้พลังงานและการเสาะแสวงหาพลังงานในสภาพที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจและสังคมมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัญหาการขาดแคลนพลังงานในขณะนี้ [2] เป็นปัญหาที่แต่ละประเทศพยายามหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาอย่างเร่งด่วน วิธีหนึ่งที่สามารถช่วยในการอนุรักษ์พลังงานคือ การนำความร้อนก่อนปล่อยทิ้งมาใช้ประโยชน์ (Waste heat recovery) การนำความร้อนทิ้งมาใช้ใหม่สามารถทำได้หลายวิธี [3] แต่ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดกลมแบบปิดสองสถานะ (The two-phase closed circular cross sectional thermosyphon, TPCT) [4] หรือท่อความร้อนที่ไม่มีวัสดุพรุน [5] ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) ทำจากท่อสแตนเลส และท่อทองแดงปลายทั้งสอง ถูกเชื่อมด้วย วัสดุเดียวกับที่ใช้ทำท่อ [6] เมื่อได้รับความร้อนจากส่วนทำระเหยจะส่งผ่านความร้อนผ่านด้านในผนังของท่อไปยังสารทำงานจนถึงอุณหภูมิของสาร สูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว [7-9] ดังภาพประกอบ 1.1



ภาพประกอบ 1.1 เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดกลมแบบปิดสองสถานะ TPCT [10]

เทอร์โมไซฟอน [11] เริ่มใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1942 และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากเดิมเป็นท่อแบบไม่มีไส้ดูดซึมจนกลายเป็นท่อแบบมีไส้ หรือ ฮีตไปป์ (Heat Pipe) [12] ซึ่งช่วยแก้ปัญหาการทำงานในมุมเอียงต่ำและการเกิดภาวะแห้งของส่วนระเหย ปัจจุบันทั้งฮีตไปป์และท่อเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ (TPCT) ยังคงถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเลือกใช้ตามต้นทุนและความสะดวกในการผลิตหรือติดตั้ง [13] แม้ว่า TPCT จะมีข้อดีหลายประการในด้านประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและโครงสร้างที่เรียบง่าย แต่ยังคงมีข้อจำกัดที่ควรพิจารณา ได้แก่ 1) การออกแบบส่วนใหญ่ใช้ท่อทรงกระบอก ซึ่งอาจไม่เหมาะกับพื้นที่ติดตั้งที่มีข้อจำกัด 2) สารทำงานแบบดั้งเดิมที่ใช้ใน TPCT สำหรับกระบวนการถ่ายเทความร้อนมีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนต่ำ ซึ่งเป็นเหตุผลสำหรับการวิจัยเกี่ยวกับปัญหานี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ TPCT และปรับปรุงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของสารทำงานแบบเดิมโดยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด Difference geometric cross sectional area thermosyphon จะเรียกว่า เทอร์โมไซฟอนที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (DGCST) เดิมพื้นที่หน้าตัดกลม (TPCT) เป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม The two-phase closed rectangular cross sectional thermosyphon เรียกว่า เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ลักษณะของสองรูปแบบ ดังภาพประกอบ 1.2



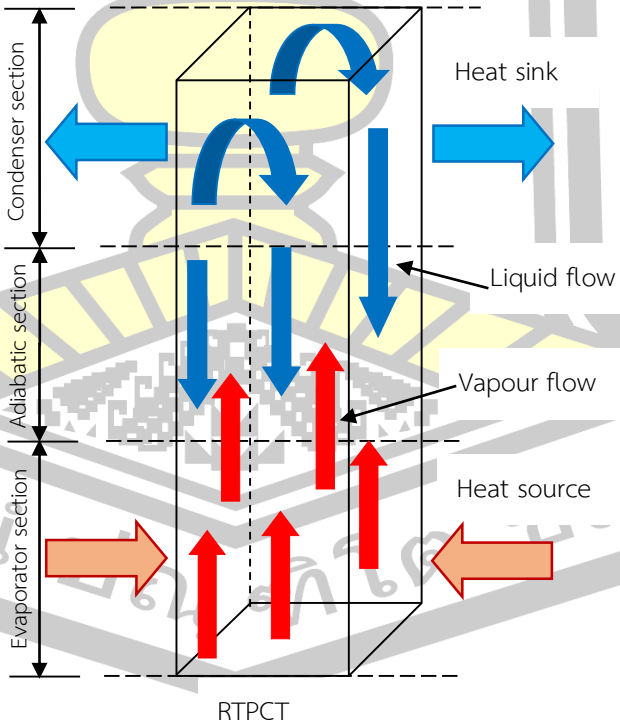
(ก) พื้นที่หน้าตัดกลม TPCT (ข) พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม RTPCT (ค) หน้าตัดกลมและหน้าตัดสี่เหลี่ยม

ภาพประกอบ 1.2 ลักษณะของ TPCT ที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดกลมที่จะทำการศึกษาในครั้งนี้ยึดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.2 mm (ก) พื้นที่หน้าตัดกลม TPCT (ข) เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม RTPCT (ค) หน้าตัดกลมและหน้าตัดสี่เหลี่ยม

ซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสัมผัสกับสารทำงานได้มากขึ้น [14] โดยสารทำงานที่ใช้งานสามารถรับและคลายความร้อนได้เนื่องจากสามารถเข้าถึงตรงกลางของหน้าตัดได้เร็วกว่า TPCT เดิม [15]

โดยสารทำงานที่ใช้งานยังมีความสำคัญในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน TPCT สารทำงานแบบดั้งเดิม เช่น น้ำ หรือ เอทานอล มีคุณสมบัติทางกายภาพต่ำและแทบจะไม่เปลี่ยนจากของเหลวเป็นไอ อนุภาคนาโนของเงินเป็นตัวเลือกสำหรับการผสมกับสารทำงานแบบดั้งเดิมเนื่องจากอนุภาคนาโนของเงินมีการนำความร้อนสูงสุดของโลหะทรานซิชันและให้เสถียรภาพที่ดีกว่าสารทำงานแบบเดิม ๆ [16] ปัญหาของอนุภาคนาโน คือ การรวมตัวของอนุภาคนาโนที่ไม่ค่อยมีการแยกส่วนสม่ำเสมอและมีเวลากระจายตัวต่ำ [17, 18] การเติมสารลดแรงตึงผิวลงในอนุภาคนาโนของเงินช่วยเพิ่มเวลาการกระจายตัวของอนุภาคนาโน [19] อนุภาคนาโนของเงินที่มีสารลดแรงตึงผิว เรียกว่า “Nanofluids” ที่มีสารลดแรงตึงผิว สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะมากกว่าสารทำงานที่ใช้งานแบบเดิม [20]

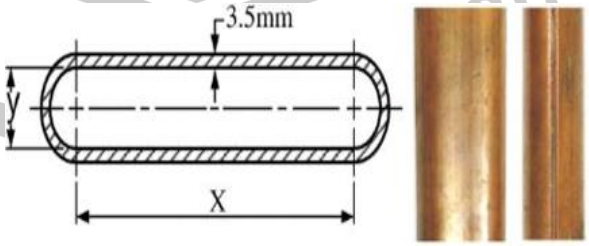
สำหรับปัญหาการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ The two-phase closed rectangular cross sectional thermosyphon (RTPCT) ดังแสดงในภาพประกอบ 1.3



ภาพประกอบ 1.3 โครงสร้างและหลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) [10]

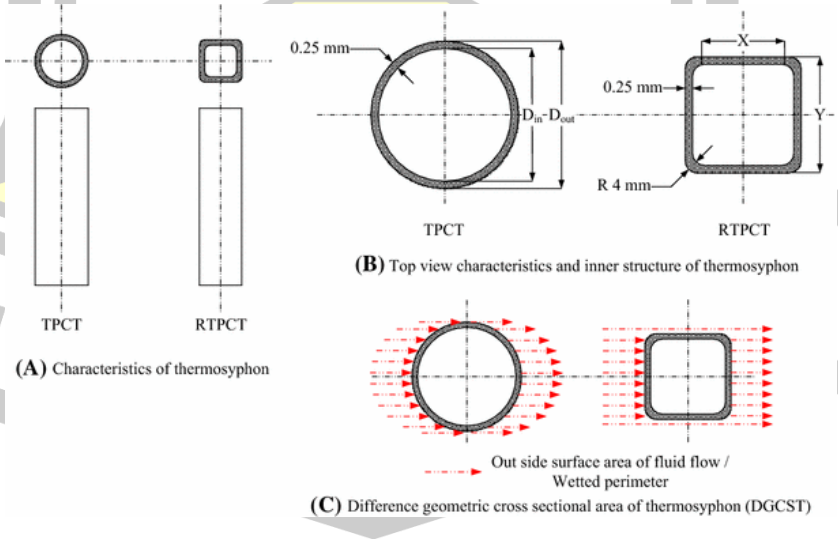
มันขึ้นอยู่กับลักษณะการเดือดที่เกิดขึ้นของรูปแบบการไหลภายในเนื่องจากรูปแบบการไหลแต่ละแบบมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน [21] มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่างๆ เช่น สารทำงาน อัตราส่วนสนทัด อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อและมุมเอียง ที่นั่นเป็นการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการไหลของ TPCT เช่น กรณีศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ (TPCT) ท่อทำจากหลอดแก้ว Pyrex tube ทนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7 และ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด 5 สารทำงาน Silver nanofluid ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) + ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว OA เท่ากับ 1 wt% จากผลการทดลองพบว่า TPCT ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25.2 mm ที่มุมเอียง 90° พบรูปแบบการไหล 4 แบบ รูปแบบการไหลแบบฟอง, รูปแบบการไหลกระสุน, รูปแบบการโพรง รูปแบบการไหลแบบวงแหวน รูปแบบการไหลเริ่มต้น เมื่ออุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 70 °C เป็น 90 °C จากผลการทดลองพบว่า รูปแบบการไหลแบบวงแหวนและรูปแบบการไหลแบบโพรงสามารถส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน พบว่า ฟลักซ์ความร้อนที่ได้ TPCT ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7 และ 25.2 mm อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C และมุมเอียงที่ 80° ดังนี้ 31.88 และ 58.15 W ตามลำดับ [22] ตามด้วยการทดลองที่ใช้ท่อเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบปิด TPCT เทอร์โมไซฟอนทำจากบอโรซิลิเกตท่อแก้วกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12 mm ความหนาของผนัง 2 mm ความยาวรวมของเทอร์โมไซฟอน 310 mm ใช้สารทำงาน คือ นาโนฟลูอิด กราฟีน – อะซิโตน ที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.05 %, 0.07 % และ 0.09 % เป็นสารทำงาน ผลการทดลองพบว่า เมื่อให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 10 W พบรูปแบบการเริ่มการไหลของฟองที่ไม่ต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มความร้อนถึง 20 W สังเกตการไหลของฟองโดยมีจำนวนฟองมากขึ้น ที่ความร้อน 30 W พบว่ารูปแบบการไหลแบบโพรง เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 40 ถึง 50 W รูปแบบการไหลเปลี่ยนจากการไหลแบบฟองเป็นการไหลแบบวงแหวน นอกจากนี้ความต้านทานความร้อนยังลดลงสูงสุด 70.3 % และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นเป็น 61.25 % (เมื่อใช้สารทำงาน นาโนฟลูอิดกราฟีน – อะซิโตน ที่ความเข้มข้น 0.09 %) การไหลเป็นแบบวงแหวนให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงเมื่อเทียบกับรูปแบบการไหลแบบอื่นๆ [23] และยังมีการศึกษารูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะโดยท่อเทอร์โมไซฟอนทำด้วยท่อโปร่งใส Sapphire ความยาวของส่วนควบแน่น 200 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 180 mm ความยาวส่วนทำระเหย 100 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ความหนาของผนังท่อ 1 mm ใช้สารทำงาน คือ น้ำ เอทานอล และ HFE-7000 ของ TPCT กรณีการใช้สารทำงาน คือ น้ำ และเอทานอล ฟลักซ์ความร้อน 5.5 และ 5.7 kW/m^2 จากผลการทดลองพบว่า เริ่มต้นการเดือดมีความดันไอสูงและอัตราการผลิตไอต่ำ เมื่อทดสอบด้วยฟลักซ์ความร้อน 17.0 kW/m^2 พบรูปแบบ

ของการไหลเวียนเริ่มต้นที่ความดันไอสูงและอัตราการผลิตไอสูงในขณะที่ความตึงผิวค่อนข้างต่ำ กรณีใช้สารทำงานเอทานอลและสารทำงาน HFE-7000 ฟลักซ์ความร้อนเพิ่มขึ้น 7.8–21.5 kW/m^2 พบว่าการเดือดที่ส่วนทำระเหย มีอัตราการผลิตฟองไอสูงกว่าการทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานฟองไอมีขนาดเล็กกว่า [24] นอกจากนี้ยังศึกษารูปแบบการไหลภายในท่อเทอร์โมไซฟอนรูปตัวยูปัจจัยที่มีผลต่อกลไกการถ่ายเทความร้อนทำจากท่อแก้ว Pyrex glass ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 mm ความหนาของผนังท่อ 1 mm ความยาวที่ส่วนทำระเหย 430 mm ความยาวที่ส่วนควบแน่นตรงส่วนโค้งงอแต่ละด้าน 2×120 mm ใช้สารทำงาน R-134a อัตราการเติมสารทำงาน 50 % โดยปริมาตรส่วนทำระเหย ที่ส่วนควบแน่นใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบไหลเวียนอุณหภูมิ 15 ±1 °C อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนใช้ Heater ติดตั้งตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้า 220 V ผลการทดลองพบ รูปแบบการไหล 3 รูปแบบ รูปแบบการไหลแบบกระสุน รูปแบบการไหลเป็นวงแหวนและการสั่นของมวลของเหลวการไหลแบบกระสุนและการไหลแบบเป็นวงแหวนเมื่อเทียบกับการสั่นของมวลของเหลวมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเทอร์โมไซฟอนรูปตัวยู คือ อัตราการเติมสารและการทำงานของสาร เทอร์โมไซฟอนรูปตัวยู ซึ่งใช้ R-134a เป็นสารทำงานมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ารุ่นที่ใช้ R-113 เป็นเพราะจุดเดือดของ R-134a ต่ำกว่า R-113 [11, 25] ต่อมาได้มีการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมไซฟอน โดยดัดแปลงรูปทรงหน้าตัดจากแบบกลมเป็นแบบแบน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสและการถ่ายเทความร้อน เรียกว่า Flat Two-Phase Closed Thermosyphon [26] ถูกสร้างขึ้นนำมาทดลองเปรียบเทียบกับเทอร์โมไซฟอนแบบกลมตามแนวแกนของท่อ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า FTPCT มีค่าอุณหภูมิตามแนวท่อสูงกว่าแบบกลมเล็กน้อย แสดงถึงความแตกต่างในพฤติกรรมการไหลและการกระจายความร้อน [11] มาในปี ค.ศ. 2012 นักวิจัย W. Srimuang and P. Khantikomol [27] ทำการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีลักษณะหน้าตัดกลมและแบนภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างกัน พบว่า เมื่ออุณหภูมิแหล่งความร้อนอยู่ที่ 55 °C แบบหน้าตัดแบนสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแบบกลม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 65–85 °C ท่อแบบกลมกลับมีอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) สูงกว่า แสดงถึงผลของรูปทรงหน้าตัดที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการไหล ภาพประกอบที่ 1.4



ภาพประกอบ 1.4 ภาพหน้าตัดท่อเทอรโมไซฟอนแบบแบน (FTPCT) [26]

ในปี ค.ศ. 2017 ได้มีนักวิจัย N. Bhuwakietkumjohn and T. Parametthanuwat ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองเพื่อเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยม ใช้สารทำงานที่ผสมอนุภาคนาโนโลหะ (Nano working fluids) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของอนุภาคเงินที่ถูกเคลือบด้วยกรดโอเลอิก ซึ่งช่วยลดแรงตึงผิวและเพิ่มประสิทธิภาพในเทอร์โมไซฟอนแบบสองสถานะปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยม อัตราส่วนสนทัด 5 ,10 และ 20 เส้นผ่านศูนย์กลางสแตนเลส (AISI-304) 25.4 mm ใช้สารทำงาน คือ น้ำ,น้ำผสมอนุภาคนาโนที่มีความเข้มข้น 0.5 wt% (NP), NP ผสม 0.5 wt% ของ OA, NP ผสม 1 wt% ของ OA, NP ผสม 1.5 wt% ของ OA อัตราการเติมสารทำงาน 30, 50 และ 80 % ของปริมาตรส่วนทำระเหย มุมเอียง 90° ความร้อนที่ให้ 20, 40, 60, 80 และ 100 % ของแหล่งให้ความร้อน 2000 W อุณหภูมิในการทำความเย็นของอากาศบริสุทธิ์อยู่ที่ 25 °C ความเร็วอากาศที่เข้าส่วนควบแน่นอยู่ที่ 0.6 m/s น้ำผสมอนุภาคเงินที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ผสม 1 wt% ของ OA ให้ผลดีที่สุด และพบต่อไปอีกว่าน้ำผสมอนุภาคนาโนเงินที่มีความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ผสม 1 wt% ของ OA จากผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดขวางจาก TPCT เป็น RTPCT (หน้าตัดขวางจากกลมเป็นสี่เหลี่ยม) นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพ และให้ผลที่ดีกว่าการตัดกลมขวางตามปกติ และในการผสมสารทำงานที่ปริมาณความเข้มข้นมากยิ่งขึ้นประสิทธิภาพกลับลดลง ท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งสองรูปแบบมีแนวโน้มลดลง [11, 14] การศึกษาครั้งนี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ซึ่งมีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าท่อแบบกลม ทั้งยังมีลักษณะเด่น คือ หน้าสัมผัสราบเรียบช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อน [11] ดังแสดงในภาพประกอบ 1.5



ภาพประกอบ 1.5 เปรียบเทียบพื้นที่หน้าสัมผัสเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยม [14]

ต่อมาในปี 2020 นักวิจัย T. Chompookham, S. Sichamnan, N. Bhuwakietkumjohn, and T. Parametthanuwat นำเสนอการศึกษารูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนรูปสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ กรณีศึกษารูปแบบการไหลและพฤติกรรมสำหรับประสิทธิภาพความร้อน RTPCT อัตราส่วนสนทัด 5 และ 20 เทอร์โมไซฟอนมีขนาดความยาวแต่ละด้าน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงานที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำปราศจากไอออน อัตราการเติมสารทำงาน 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย มุมเอียง 90° อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50 °C ,70 °C และ 90 °C อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ส่วนควบแน่น 20 °C ที่อัตราส่วนสนทัด 5 พบรูปแบบการไหล 3 แบบ ได้แก่ การไหลแบบฟอง การไหลแบบเป็นก้อน และการไหลแบบโพรง เมืออัตราส่วนสนทัด 20 พบรูปแบบการไหล 4 รูปแบบได้แก่ การไหลแบบฟอง การไหลแบบก้อน การไหลแบบโพรงและการไหลแบบวงแหวน ตามลำดับ อัตราส่วนสนทัด 5 ลักษณะของท่อเทอร์โมไซฟอน RTPCT ที่ส่วนทำระเหยสั้นกว่า อัตราส่วนสนทัด 20 ดังนั้น สารทำงานในท่อสั้นเคลื่อนที่ขึ้นลงเร็วกว่าสารทำงานในท่อยาว ที่อัตราส่วนสนทัด 20 นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการไหลนำไปสู่รูปแบบที่สำคัญสำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนทำได้อย่างง่ายดาย การไหลแบบโพรงเป็นประเภทที่สำคัญที่สุดของโฟลว์การถ่ายเทความร้อนตามด้วยรูปแบบการไหลแบบกระสุน ที่อัตราส่วนสนทัด 20 พบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน มากที่สุดสำหรับการถ่ายเทความร้อนตามด้วยการไหลแบบโพรง ตามลำดับ ตลอดการทดสอบ ฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ยที่ได้ อัตราส่วนสนทัด 5 เท่ากับ 2.60 และ 1.52 kW/m^2 ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วนสนทัด 20 ฟลักซ์ความร้อนสูงสุดที่อุณหภูมิน้ำร้อนส่วนทำระเหย 90 °C ซึ่งเทียบเท่ากับ 1.51 และ 0.74 kW/m^2 ตามลำดับ [10]

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบรูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนทำระเหย TPCT และ RTPCT พื้นที่ผิวหน้าตัดรูปทรงต่างๆ ของท่อมีความสำคัญต่อการเดือดของสารทำงานภายในที่ส่วนทำระเหยพฤติกรรมการไหลทั้งหมดนี้เกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ ดังนั้นท่อสี่เหลี่ยม (RTPCT) แตกต่างจาก TPCT ตามที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้การศึกษาก่อนหน้านี้เกี่ยวกับ TPCT สะส่วนมากยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับ (RTPCT) ของส่วนควบแน่น ซึ่งยังไม่มีผู้วิจัยศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นก่อให้เกิดแนวคิดในการศึกษาวิจัยนี้ประโยชน์ของการศึกษาจะรวมถึงความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะพื้นที่ผิวหน้าตัดหรือรูปร่างของเทอร์โมไซพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม(RTPCT) โดยใช้ Nanofluids ที่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นสารทำงานเข้าใจรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน ยิ่งไปกว่านั้นอุณหภูมิของส่วนทำระเหยและอัตราส่วนสนทัดมีผลต่อพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เพื่ออธิบายลักษณะของการถ่ายเทความร้อน สำหรับการออกแบบ (RTPCT) ให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของสารทำงาน, อัตราส่วนสนทัด, อุณหภูมิส่วนทำระเหย,เส้นสัมผัสเปียกและมุมเอียง ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของสารทำงาน, อัตราส่วนสนทัด, อุณหภูมิส่วนทำระเหย,เส้นสัมผัสเปียกและมุมเอียง ที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของตัวแปรไร้มิติต่อค่าการควบแน่น เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.2.4 เพื่อสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหลภายในส่วนควบแน่น (Flow patterns map) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ตัวแปรต้น

1.3.1.1 สารทำงาน 3 ชนิด

1) น้ำปราศจากไอออน (DI)

2) น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+})

3) เอทานอล

1.3.1.2 อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 3 ค่า คือ 50 70 และ 90 °C

1.3.1.3 อัตราส่วนสนทัด 3 ค่า คือ 5 10 และ 20

1.3.1.4 มุมเอียง 3 ค่า คือ 70 80 และ 90°

1.3.2 ตัวแปรตาม

1.3.2.1 ความยาวเฉลี่ยของฟองไอภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.3.2.2 ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.3.2.3 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.3.2.4 รูปแบบการไหลของสารทำงานภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.3.2.5 ตัวแปรไร้มิติต่อค่าการควบแน่น เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่หลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.3.2.6 แผนภูมิรูปแบบการไหลภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

1.3.3.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ส่วนควบแน่น 20 °C

1.3.3.2 อัตราการไหลของน้ำเย็นที่เข้าส่วนควบแน่น 0.25 L/min

1.3.3.3 อัตราการเติมสารทำงาน (FR) 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย

1.3.3.4 เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ส่วนกันความร้อนทำจากสแตนเลสสตีล Stainless steel AISI-304 ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย ทำจากแผ่นแก้วขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm หนา 2 mm

1.3.3.5 ระยะเวลาในการเริ่มเก็บข้อมูล 30 min หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

1.4 ความสำคัญของการวิจัย

1.4.1 ทราบถึงผลของสารทำงาน, อัตราส่วนสนทัด, อุณหภูมิส่วนทำระเหย,เส้นสัมผัสเปียกและมุมเอียง ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.4.2 ทราบถึงผลของสารทำงาน, อัตราส่วนสนทัด, อุณหภูมิส่วนทำระเหย,เส้นสัมผัสเปียกและมุมเอียง ที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.4.3 ทราบถึงผลของตัวแปรไร้มิติต่อค่าการควบแน่น ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

1.4.4 ได้แผนภูมิรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น (Flow patterns map) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

บทที่ 2
ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

สำหรับการวิจัยรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วย

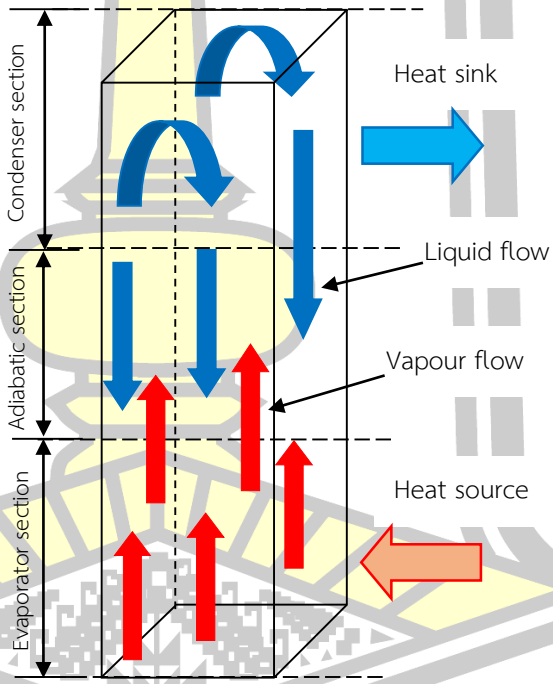
2.1 ทฤษฎีและหลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ
2.2 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ
2.3 รูปแบบการไหลสองสถานะ
2.4 แผนภูมิรูปแบบการไหล
2.5 ตัวแปรไร้มิติ
2.6 นาโนเทคโนโลยีและสารทำงานระดับอนุภาคนาโน
2.7 สารลดแรงตึงผิว
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ

2.1.1 ท่อนำความร้อนแบบธรรมดา (Thermosyphon)

ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ถือเป็นอุปกรณ์ประเภทหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้ในกระบวนการ ถ่ายเทความร้อน เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถสร้างได้ง่าย มีต้นทุนการสร้างและต้นทุน ดำเนินงานต่ำ ทำงานได้โดยไม่ต้องมีแหล่งให้พลังงาน และให้สมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนสูง โดย ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน มีลักษณะเป็นท่อปลายปิดที่ภายในบรรจุด้วยสารทำงาน (Working fluid) เช่น น้ำ เมทานอล เอทานอล หรือสารทำความเย็น (Refrigerant) อื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะการ ใช้งาน ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) ในกรณีที่ของไหลร้อนไหลผ่านส่วนทำระเหยสารทำงานซึ่งบรรจุอยู่ภายในจะเดือดและกลายเป็นไอแล้วไหล ขึ้นด้านบนผ่านส่วนกันความร้อน ซึ่งไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ส่วนควบแน่น โดยผิวด้านนอกของ ส่วนควบแน่นจะสัมผัสกับของไหลหรือวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ไอของสาร ทำงานเกิดการควบแน่นและไหลลงมายังส่วนทำระเหยโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อน จากของไหลร้อนอีกครั้ง การไหลของสารทำงานจะมีลักษณะเป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดเวลา ด้วยเหตุที่ ความร้อน

การกลายเป็นไอของสารทำงานเกิดขึ้นในปริมาณสูงสารทำงานมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจากฝั่งหนึ่งไปยังอีกฝั่งของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนได้โดยที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน จากหลักการทำงานข้างต้น ผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถนำไปใช้ได้เหมาะสำหรับการประยุกต์ในกระบวนการลดอุณหภูมิหรือเพิ่มอุณหภูมิ [28] ซึ่งเทอร์โมฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมความร้อนของเทอร์โมไซฟอนโดยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมทั้งที่ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น เป็นการปรับเปลี่ยนของพื้นที่หน้าตัดของเทอร์โมไซฟอน มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อพฤติกรรมของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) สามารถแก้ไขปัญหา พื้นที่ที่จำกัดในการติดตั้งที่หน้างานและเป็นทางเลือกในการประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์ความร้อนต่างๆ ได้ด้วยกระบวนการรับและถ่ายเทความร้อนในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอน [14] แสดงในภาพประกอบ 2.1



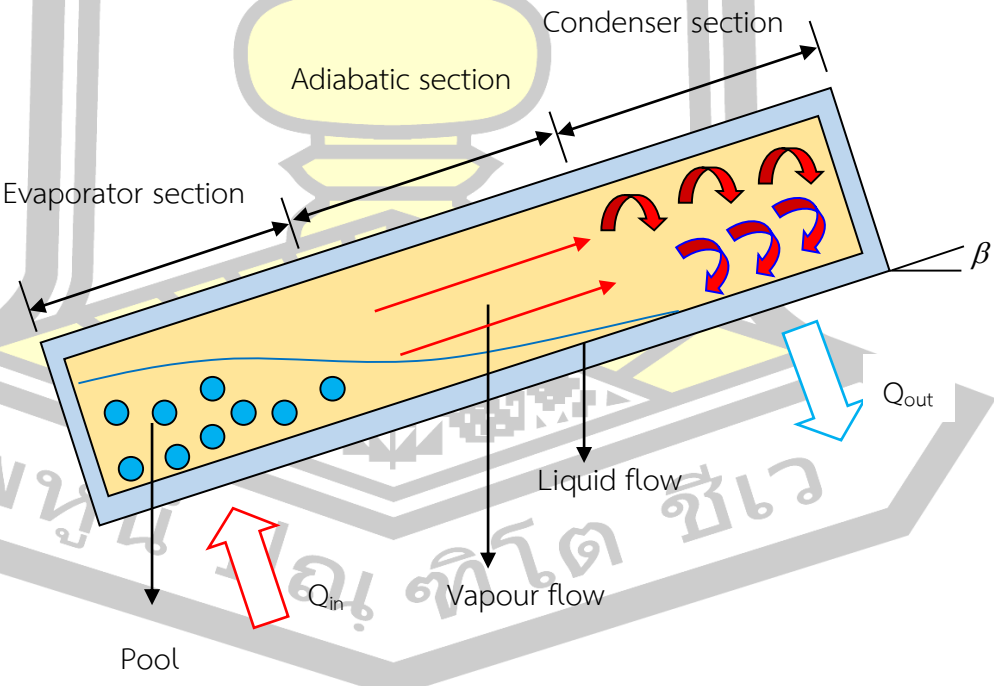
ภาพประกอบ 2.1 แสดงการไหลเวียนของสารทำงานภายใน RTPCT โดยไอเคลื่อนขึ้นสู่ส่วนระบายความร้อนและของเหลวไหลกลับสู่ส่วนรับความร้อน [10]

หลักการพื้นฐานของระบบ คือ เมื่อสารทำงานของเหลวอิ่มตัวได้รับความร้อนจากส่วนทำระเหย มันจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ไอจะเคลื่อนขึ้นไปยังส่วนควบแน่นที่เย็นกว่า จากนั้นจะควบแน่นและไหลกลับสู่ส่วนทำระเหยโดยแรงโน้มถ่วงทำหน้าที่เป็นตัวขับ [29] เนื่องจากความร้อนแฝงของสาร

ทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีคุณสมบัติในการระเหยได้ดี ทำให้ความร้อนเคลื่อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความต่างอุณหภูมิค่อนข้างน้อยระหว่างสองบริเวณนี้ ประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนของเทอร์โมไซฟอนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ขนาดและรูปแบบ การประกอบท่อ คุณสมบัติของสารทำงาน อุณหภูมิพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ รวมถึงมุมการวางตัวในแนวดิ่ง [30]

2.1.2 ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบเอียง

สำหรับท่อเทอร์โมไซฟอนแบบเอียงมีหลักการทำงานคล้ายกับแบบปกติตั้งตรงแต่ลักษณะการไหลเวียนของสารทำงานจะเปลี่ยนไปพบว่าที่ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบเอียงมีค่าสูงกว่าแบบตั้งตรง เนื่องจากเทอร์โมไซฟอนแบบเอียงของเหลวที่มีการควบแน่นจะไหลลงมาสู่ส่วนทำระเหยโดยที่ฟิล์มของเหลวด้านบนจะบางด้านล่างจะหนา ซึ่งเกิดการแบ่งชั้นอย่างเด่นชัด [31] เป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น แต่เมื่อเอียงไปถึงจุดหนึ่งแล้วนั้นฟิล์มของเหลวไม่สามารถไหลเปียกผิวหนังด้านบน จึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงที่สภาวะการทำงานปกติของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบเอียงมีข้อดีกว่าแบบตั้งตรง และสามารถประยุกต์ใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อใช้สำหรับอุตสาหกรรมการทำความเย็น [32] ภาพประกอบ 2.2



ภาพประกอบ 2.2 เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมเอียงแบบปิดสองสถานะ

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่ตำแหน่งเอียง ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับเทอร์โมไซฟอนแนวดิ่ง และฟังก์ชันของมุมเอียงต่างๆ หาได้จากสมการ 2.1 และ 2.2 [31], [32] ดังนี้

$$Q_{incline} = Q_{vertical} \times f(\beta) \quad (2.1)$$

$$Z_{incline} = Z_{vertical} \times f(\beta) \quad (2.2)$$

เมื่อ $Q_{incline}$ คือ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนในแนวเอียง (W)

$Q_{vertical}$ คือ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนในแนวดิ่ง (W)

$Z_{incline}$ คือ ค่าความต้านทานความร้อนในแนวเอียง (°C/W)

$Z_{vertical}$ คือ ค่าความต้านทางความร้อนในแนวดิ่ง (°C/W)

$f(\beta)$ คือ ฟังก์ชันมุมเอียง

2.2 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

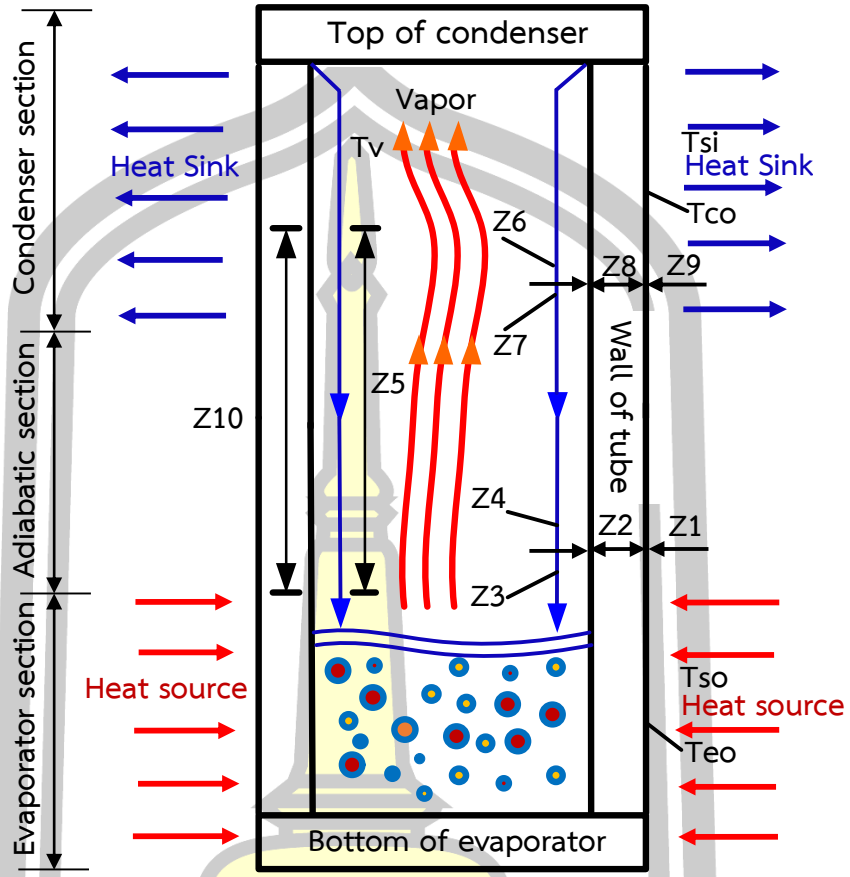
ภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจะมีความต้านทานทางความร้อนเกิดขึ้น ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการส่งถ่ายความร้อน ซึ่งรูปจำลองความต้านทานทางความร้อนที่เกิดขึ้นในการทำงานของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยมจะแสดงได้ดัง ภาพประกอบ 2.3 และภาพประกอบ 2.4 แสดงความต้านทานทางความร้อนที่เกิดขึ้นในการทำงานของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยมในรูปของวงจรตัวต้านทาน [33] ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าอัตราการส่งถ่ายความร้อน ตามหลักการความต้านทานความร้อนได้ดังนี้ [34] หาได้จากสมการ 2.3

$$Q_{theorical} = \frac{\Delta T}{Z_{total}} \quad (2.3)$$

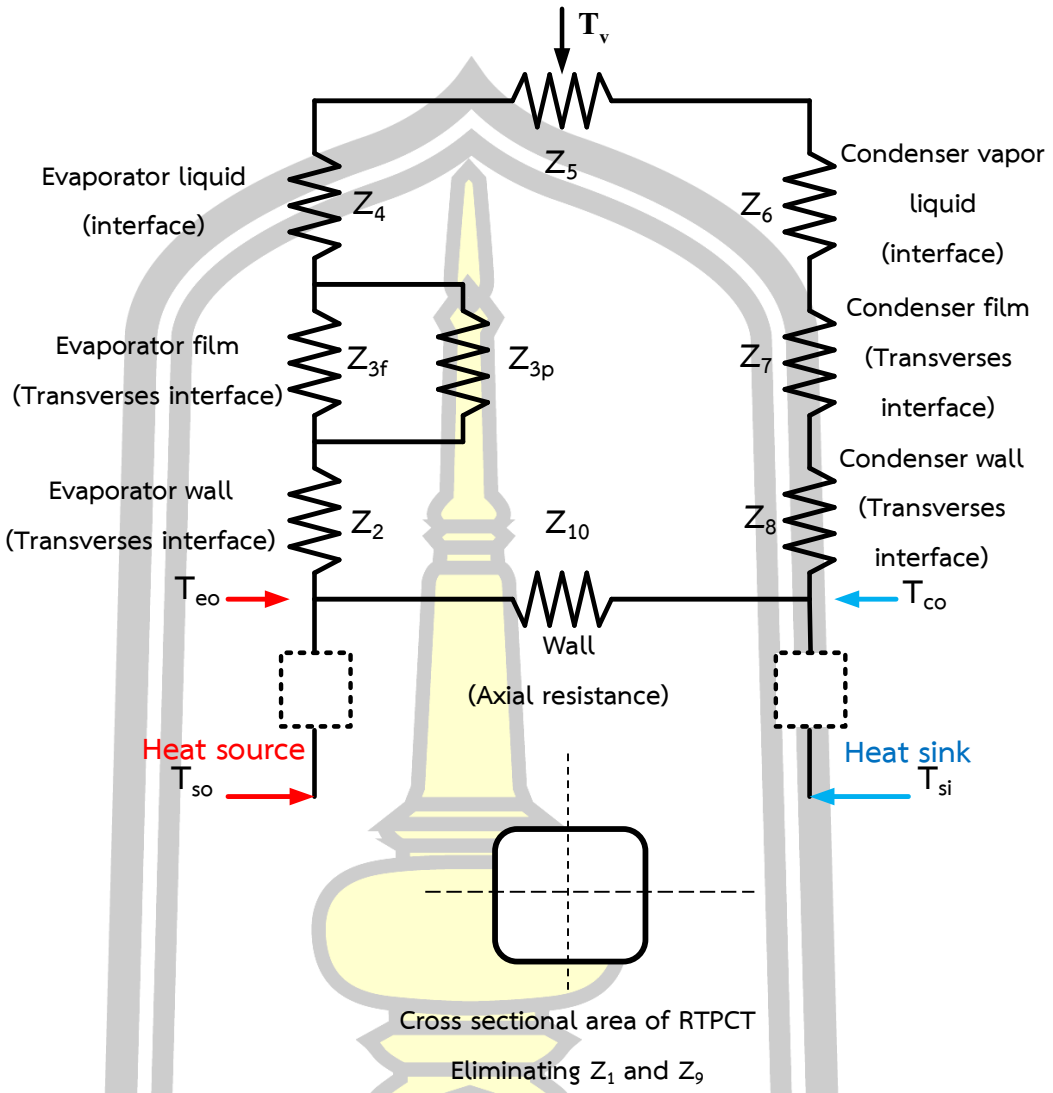
เมื่อ $Q_{theorical}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในทางทฤษฎี (W)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อน และแหล่งรับความร้อน (°C)

Z_{total} คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนรวมทั้งหมดของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม (°C/W)



ภาพประกอบ 2.3 แบบจำลองความต้านทานทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม RTPCT [10, 14, 35]



ภาพประกอบ 2.4 วงจรความต้านทานทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม RTPCT [10, 14, 35]

ค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ ประกอบด้วย Z_1 ถึง Z_{10} สามารถคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

Z_1 และ Z_9 คือ ความต้านทานทางความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนระหว่างแหล่งให้ความร้อนกับผิวท่อด้านนอกของส่วนทำระเหยและระหว่างแหล่งรับความร้อนกับผิวท่อด้านนอกของส่วนควบแน่น ตามลำดับซึ่งหาได้ [34] หาได้จากสมการ 2.4 และ 2.5

$$Z_1 = \frac{1}{h_{eo}A_{eo}} \tag{2.4}$$

$$Z_9 = \frac{1}{h_{co}A_{co}} \quad (2.5)$$

เมื่อ h_{eo} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านนอกของส่วนรับความร้อนท่อ (W/m^2C)

h_{co} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านนอกของส่วนระบายความร้อนท่อ (W/m^2C)

A_{eo} คือ พื้นที่สัมผัสรวมของส่วนทำระเหย (m^2)

A_{co} คือ พื้นที่สัมผัสรวมของส่วนควบแน่น (m^2)

Z_2 และ Z_8 คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนตามแนวรัศมีผ่านผนังท่อความร้อนในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นตามลำดับ [34] จากสมการ 2.6 และ 2.7

$$Z_2 = \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi L_e k_x} \quad (2.6)$$

และ

$$Z_8 = \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi L_c k_x} \quad (2.7)$$

เมื่อ D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อความร้อน (m)

D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อความร้อน (m)

L_e คือ ความยาวส่วนทำระเหยของท่อความร้อน (m)

L_c คือ ความยาวส่วนควบแน่นของท่อความร้อน (m)

Z_3 และ Z_7 คือ ความต้านทานทางความร้อนเนื่องจากการเดือดและการควบแน่นของสารทำงานภายในท่อความร้อน ประกอบด้วยคุณสมบัติของสารทำงานและอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อ โดยแยกเป็น

Z_{3p} คือ ความต้านทานทางความร้อนเนื่องจากการเดือดที่เกิดขึ้นของแอ่งของเหลวของท่อความร้อนหาได้จากสมการ [34] หาได้จากสมการ 2.8 และ 2.9

$$Z_{3p} = \frac{1}{\Phi_3 g^{0.2} Q^{0.4} (\pi D L_e)^{0.6}} \quad (2.8)$$

Φ_3 คือ ค่าคงที่ของสารทำงาน Figure of merit ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\Phi_3 = 0.325x \frac{\rho_l^{0.5} k_l^{0.3} C_{pl}^{0.7}}{\rho_v^{0.25} L^{0.4} \mu_l^{0.1}} \left(\frac{p_v}{p_a} \right)^{0.23} \quad (2.9)$$

เมื่อ L คือ ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (J/kg)

μ_l คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์ของของเหลว (m/s)

C_{pl} คือ ค่าความจุความร้อนของสารทำงานในสถานะของเหลว (m/s)

ρ_l คือ ความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะก๊าซ (kg/m^3)

p_v คือ ความดันไอของสารทำงาน (Pa)

p_a คือ ความดันบรรยากาศมีค่า 101.3 (KPa)

แต่สำหรับสารทำงานที่เป็นน้ำ [34] หาได้จากสมการ 2.10

$$\Phi_3 = 63(\rho_v / \rho_a)^{0.23} \quad (2.10)$$

Z_{3f} คือ ความต้านทานทางความร้อนเนื่องจากการเดือดของฟิล์มของเหลวที่ส่วนทำระเหย หาได้จากสมการ 2.11

$$z_{3f} = \frac{CQ^{1/3}}{D^{4/3} g^{1/3} l_e \Phi_2^{4/3}} \quad (2.11)$$

Φ_2 คือ คุณสมบัติทางความกายภาพของการควบแน่นคำนวณได้จากสมการ 2.12

$$\Phi_2 = \left(\frac{L k_l^3 \rho_l^2}{\mu_l} \right)^{1/4} \quad (2.12)$$

เมื่อ L, h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของสารทำงาน (Latent heat) (J/kg)

k_l คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสารทำงานในสถานะของเหลว (W/m °C)

ρ_l คือ ความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของเหลว (kg/m^3)

μ_l คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของสารทำงานในสถานะของเหลว (m/s)

เนื่องจาก Z_3 ประกอบด้วยความต้านทานความร้อนเนื่องจากการเดือดของฟิล์มและแอ่ง ซึ่งมีเงื่อนไขในการหาค่า Z_3 ดังนี้ได้จากสมการ 2.13 และ 2.14

ถ้า $Z_{3p} \rangle Z_{3f}$ แล้ว $Z_3 = Z_{3p}$ (2.13)

ถ้า $Z_{3p} \langle Z_{3f}$ แล้ว $Z_3 = Z_{3p}F + Z_{3f}(1-F)$ (2.14)

เมื่อ F คือ อัตราส่วนการเติมสารทำงาน หาได้จากสมการ 2.15

$$F = \frac{V_l}{AL_e} \tag{2.15}$$

เมื่อ V_l คือ ปริมาตรของสารทำงานที่เติมของเหลวในเทอร์โมไซฟอนขณะยังไม่ได้ทำงาน (m^3)

A คือ พื้นที่หน้าตัดขวางของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม (m^2)

L_e คือ ความยาวในส่วนทำระเหย (m)

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเทอร์โมไซฟอน (m)

Z_7 คือ ความต้านทานทางความร้อนของฟิล์มของเหลวที่ควบแน่นในส่วนควบแน่น สามารถคำนวณได้จากทฤษฎีของ Nusselt สำหรับท่อในแนวดิ่งคำนวณ [34] หาได้จากสมการ 2.16

$$Z_7 = \frac{0.235Q^{1/3}}{D_i^{4/3} g^{1/3} l_e \Phi_2^{4/3}} \tag{2.16}$$

เมื่อ g คือ ค่าแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

C คือ ค่าคงที่ ซึ่ง $C = (1/3)(3/\pi)^{4/3}$

Φ_2 คือ ค่าคงที่ของสารทำงาน Figure of merit

Z_4 และ Z_6 คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนที่เกิดขึ้น เนื่องจากรอยต่อระหว่างไอกับของเหลวในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นตามลำดับ โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอื่นๆ จึงไม่นำมาคิดในการคำนวณ

Z_5 คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนอันเนื่องมาจากความดันไอตกคร่อมจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น มีผลทำให้อุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำงานลดลงด้วย โดยทั่วไปแล้วมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานอื่น ๆ [34]

Z_{10} คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนตามแนวแกนความยาวของท่อ (Axial) หรือความต้านทานทางความร้อนที่เกิดขึ้นกับผนังท่อจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาและวัสดุที่ใช้ทำท่อเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยมและหาค่าประมาณจากสมการ 2.17

$$Z_{10} = \frac{0.5L_e + L_a + 0.5L_c}{A_x k_x} \quad (2.17)$$

เมื่อ L_a คือ ความยาวส่วนกันความร้อน (m)

L_e คือ ความยาวส่วนทำระเหย (m)

A_x คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อความร้อน (m^2)

k_x คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำท่อ (W/mK)

เมื่อไม่พิจารณาค่า Z_4 , Z_5 และ Z_6 สามารถหาค่าผลรวมความต้านทานทางความร้อนสุทธิหาได้จากสมการ 2.18 และ 2.19

$$Z_{total} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8 + Z_9 \quad (2.18)$$

เมื่อ $$\frac{Z_{10}}{Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8} \rangle 20 \quad (2.19)$$

ถ้าไม่เป็นไปตามสมการ 2.19 ค่าความต้านทานทางความร้อน [34] รวมสุทธิหาได้จากสมการ 2.20

$$Z_{total} = Z_1 + [(Z_2 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_8)^{-1} + 1/Z_{10}]^{-1} + Z_9 \quad (2.20)$$

ในขณะที่ความแตกต่างอุณหภูมิในหาได้จากสมการ 2.21

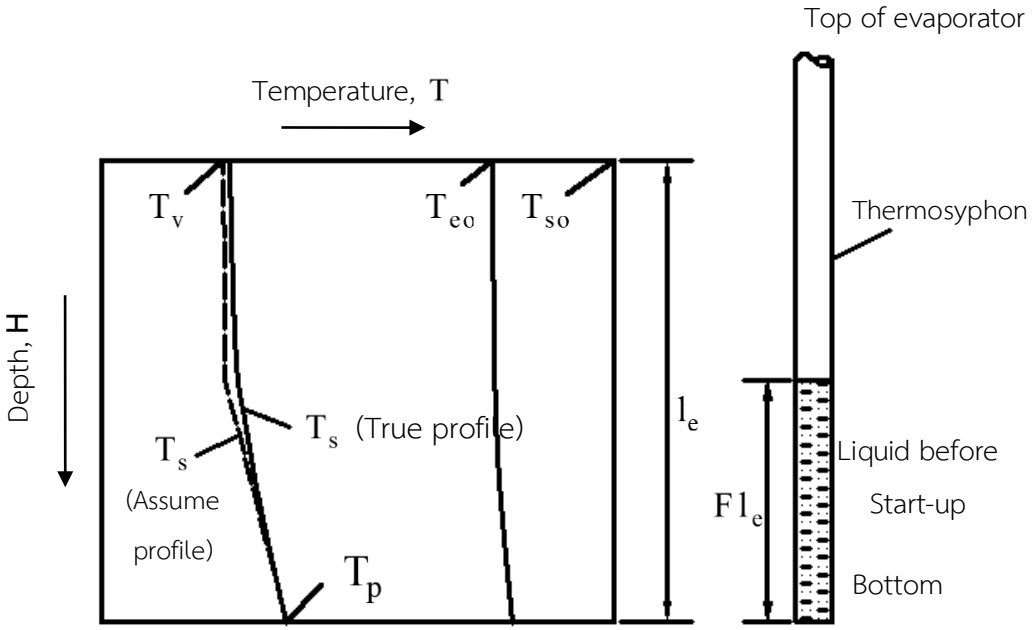
$$\Delta T = T_{so} - T_{si} - \Delta T_h \quad (2.21)$$

เมื่อ T_{so} คือ อุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อน (°C)

T_{si} คือ อุณหภูมิที่แหล่งให้ความเย็น (°C)

ΔT_h คือ ค่าเฉลี่ยความแตกต่างอุณหภูมิเนื่องจาก Hydrostatic head

ซึ่งความแตกต่างอุณหภูมิเนื่องจากค่าเฮดของของเหลวนั้นแสดงได้ ดังภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม [34]

ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจะมีแอ่งของเหลวที่สูงระดับหนึ่งซึ่งค่าความสูงดังกล่าวมีผลต่อค่าเฮดของของเหลว ทำให้อุณหภูมิอิ่มตัวก้นแอ่งของเหลวเปลี่ยนแปลงไปจึงสามารถหาค่าความดันที่ก้นแอ่งของเหลว [7] หาได้จากสมการ 2.22

$$P_p = P_v + \rho_l g F l_e \sin\beta \qquad (2.22)$$

อุณหภูมิที่ก้นแอ่ง T_p จะหาได้จากตารางคุณสมบัติของสารทำงานที่ความดันอิ่มตัวนั้นๆ ภาพประกอบ 2.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปกับความลึกในส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมซึ่งเมื่อท่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิ T_{so} อุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลว (T_s) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อความลึกของส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิ T_p ที่ก้นแอ่งของเหลว แต่เพื่อความสะดวกก็จะตั้งสมมติฐานว่าอุณหภูมิของของไหลในส่วนที่อยู่เหนือระดับของเหลวในส่วนทำระเหยมีค่าเท่ากับ T_v และจะลดลงอย่างคงที่เป็นเส้นตรง ตามความลึกของแอ่งของเหลว ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในส่วนทำระเหย (T_{me}) จะหาได้จากสมการ 2.23 [34]

$$T_{me} = T_v(1-F) + \frac{(T_v + T_p)}{2}F \qquad (2.23)$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยความแตกต่างอุณหภูมิเนื่องจากค่าหัวน้ำ จึงมีค่าเท่ากับ ΔT_h หาได้จากสมการ 2.24

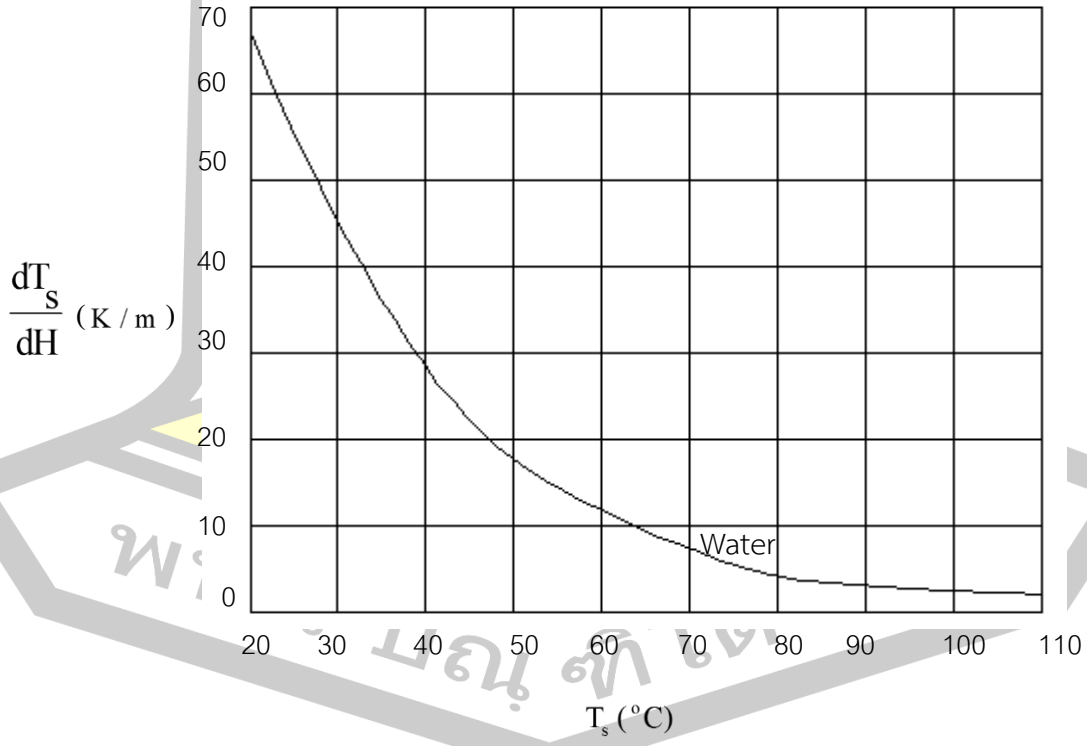
$$\Delta T_h = \frac{T_p - T_v}{2} F \tag{2.24}$$

ถ้าไม่คิดอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารอุณหภูมิของสารที่ด้านล่างของท่อ คือ T_p หาได้จาก [7] สมการ 2.25

$$T_p = T_v + \frac{dT_s}{dH} l_e F \tag{2.25}$$

ซึ่ง $\frac{dT_s}{dH}$ หาได้จาก ภาพประกอบ 2.6

ภาพประกอบ 2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำเทียบกับความลึก [34]



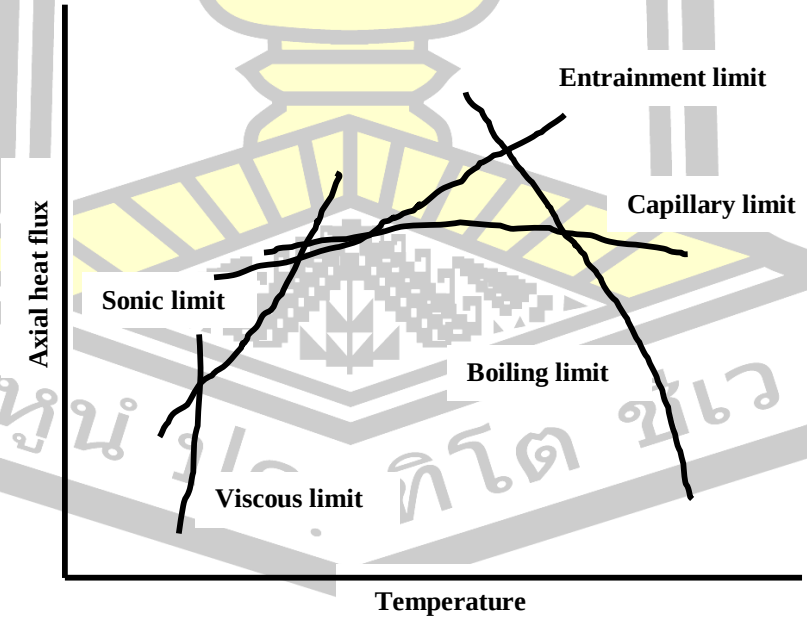
ภาพประกอบ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำเทียบกับความลึก [34]

หากสารทำงานไม่ใช่น้ำ อัตราการลดลงของอุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลวเทียบกับความลึกสามารถคำนวณได้ [34] จากสมการ 2.26

$$\frac{dT_s}{dH} = \frac{T_s g}{L}\left(\frac{\rho_l}{\rho_v} - 1\right) \tag{2.26}$$

2.2.1 ขีดจำกัดอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

จากสมการ 2.3 จะพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนแปรผันตรงกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนและแหล่งระบายความร้อน แต่ในความเป็นจริงเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะสามารถถ่ายเทความร้อน ถึงระดับสูงสุดค่าหนึ่ง แม้เพิ่มความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้น สาเหตุที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดนั้นมีอยู่หลายประการและจำแนกเป็นขีดจำกัดความสามารถในการถ่ายเทความร้อน เช่น ปริมาณการเติมสารทำงาน มุมเอียง ความยาวเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ ชนิดสารทำงาน ปริมาณความร้อนและการนำมาใช้งานไม่เหมาะสม จะทำให้เทอร์โมไซฟอนมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำลง หรือไม่ [34] ความร้อนสามารถถูกถ่ายโอนได้อย่างเต็มที่ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่ไม่เหมาะสมอาจจำกัดประสิทธิภาพเนื่องจากกลไกการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ซึ่งแสดงไว้ในภาพประกอบ 2.7



ภาพประกอบ 2.7 ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน [7]

ข้อจำกัดสำคัญของการถ่ายเทความร้อนในท่อเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ประกอบด้วย หลักเกณฑ์ด้านความดันไอ (Vapour pressure limit), ความเร็วเสียง (Sonic limit), การแห้ง (Dry out limit), การเดือด (Boiling limit) และการไหลสวนทาง (Counter-current flow limit) [34]

2.2.2 ขีดจำกัดความดันไอ (Vapour pressure limit)

เกิดขึ้นที่การทำงานของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ทำงานที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ทำให้ความดันตกคร่อมของไอมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนขีดจำกัดความดันไอ [34] หาได้จากสมการ 2.27 และ 2.28

$$\frac{Q_{max}}{AL} = \frac{D^2 P_v \rho_v}{64 \mu_v L_{eff}} \tag{2.27}$$

เมื่อ $$L_{eff} = 0.5L_e + L_a + 0.5L_c \tag{2.28}$$

2.2.3 ขีดจำกัดความเร็วเสียง (Sonic limit)

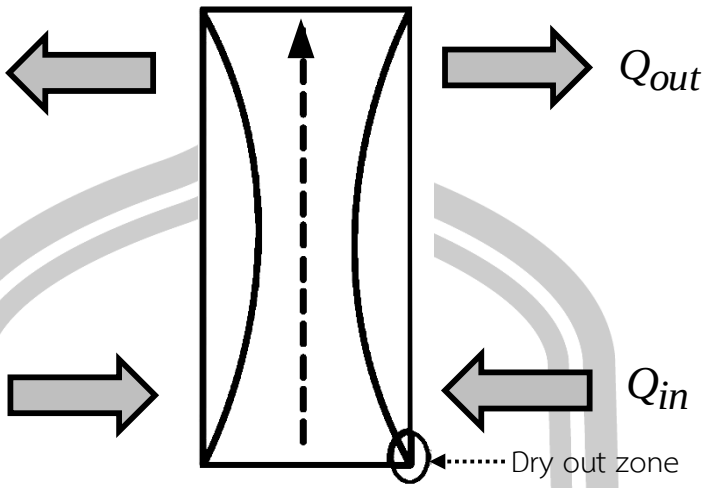
ขณะที่เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทำงานที่ความดันต่ำความเร็วของไอสารทำงานอาจจะเข้าใกล้ความเร็วเสียง ซึ่งก็เป็นสาเหตุให้การถ่ายเทความร้อนไม่สามารถถ่ายเทได้สูงขึ้นไปอีกดังนั้นการคำนวณหาขีดจำกัดความเร็วเสียงจะเป็นการประมาณอัตราการไหลของสารทำงานสูงสุดซึ่งจะหาได้จากสมการ 2.29 [34]

$$\frac{Q_{max}}{AL} = 0.5\left(P_v \rho_v\right)^{0.5} \quad kg/\left(s.m^2\right) \tag{2.29}$$

2.2.4 ขีดจำกัดการแห้ง (Dry out limit)

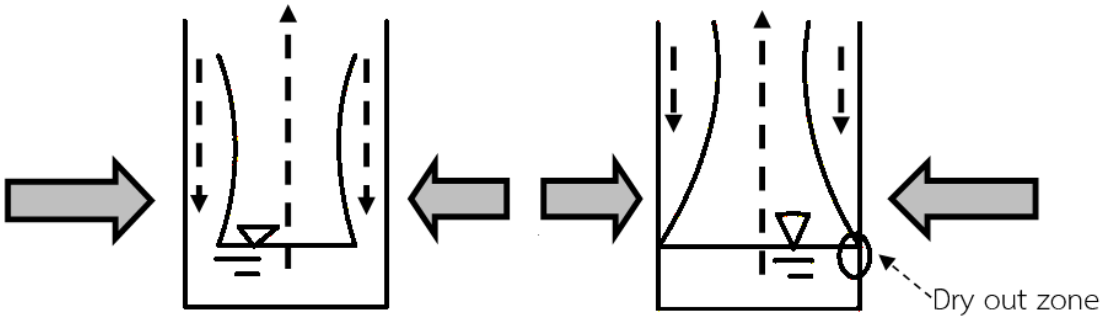
ขีดจำกัดดังกล่าวเกิดขึ้นได้ในสองสถานการณ์หลัก คือ เมื่อปริมาณสารทำงานต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป โดยรายละเอียดของแต่ละกรณีสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ [34]

ก.การเติมปริมาณสารทำงานน้อยเกินไปหากมีการให้ความร้อนในส่วนทำระเหยสูงจะทำให้ของเหลวส่วนล่างเริ่มแห้ง อุณหภูมิของผิว RTPCT จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น แสดงในภาพประกอบ 2.8 และภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.8 การแห้งเหือดเมื่อเติมปริมาณสารทำงานน้อยเกินไป [7]

ข. กรณีที่เติมสารทำงานมากไป ของเหลวภายในท่อจะระเหยเป็นไอได้ต่อเนื่อง ส่งผลให้ระดับของเหลวลดลงอย่างช้า ๆ การเคลื่อนที่สวนทางระหว่างไอและของเหลวที่ควบแน่นก่อให้เกิดแรงเฉือนสูง ทำให้ของเหลวบางส่วนค้างอยู่บริเวณโซนควบแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ผนังบริเวณเหนือบ่อของเหลวเริ่มแห้งและอุณหภูมิของผนัง RTPCT สูงขึ้น เมื่อมวลของเหลวที่ควบแน่นมีมากจนแรงดันไอไม่สามารถพยุงได้ ของเหลวจะตกกลับสู่ส่วนทำระเหย ส่งผลให้เกิดการแกว่งตัวของอุณหภูมิผนังอย่างต่อเนื่อง [7]



ภาพประกอบ 2.9 การแห้งเหือดเมื่อเติมปริมาณสารทำงานมากเกินไป [7]

2.2.5 ขีดจำกัดการเดือด (Boiling limit)

ขีดจำกัดนี้เกิดขึ้นเมื่อฟลักซ์ความร้อนที่เข้าสู่ส่วนทำระเหยมีค่าสูง ส่งผลให้เกิดการเดือดอย่างรุนแรงจนเกิดฟิล์มไอเคลือบผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ฟิล์มไอนี้ทำหน้าที่เป็นฉนวนระหว่างผิว

โลหะกับของเหลว ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากผิวไปยังสารทำงานหยุดชะงัก อุณหภูมิผนังบริเวณดังกล่าวจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดจุดร้อน (hot spot) ซึ่งรบกวนการไหลเวียนของของเหลว ภาวะนี้เรียกว่า ขีดจำกัดการเดือด โดยสามารถประเมินได้จากสมการ (2.30) [34]

$$\frac{Q_{max}}{A_e} = 0.12L(\rho_v)^{0.5}\left[\sigma g(\rho_l - \rho_v)\right]^{0.25} \quad (2.30)$$

เมื่อ A_e คือ พื้นที่ภายในของส่วนทำระเหย $A_e = \pi D_o L_e$ (m^2)

σ คือ แรงตึงผิวของสารทำงาน (Surface tension) (N/m)

2.2.6 ขีดจำกัดการไหลสวนทาง (Counter-current flow limit)

เมื่ออัตราการป้อนความร้อนเพิ่มสูงขึ้น สารทำงานจะระเหยเป็นไอในปริมาณมากและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างไอที่พุ่งขึ้นและของเหลวที่ไหลกลับจากส่วนควบแน่นจึงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การไหลกลับของของเหลวถูกขัดขวางและเกิดการสะสมบริเวณส่วนบนของท่อ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การท่วม (Flooding) หรือ การหอบพา (Entrainment) ซึ่งเป็นหนึ่งในขีดจำกัดการทำงานของเทอร์โมไซฟอน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.31 [34]

$$\frac{Q_{max}}{AL} = f_1 f_2 f_3 (\rho_v)^{0.5}\left[g(\rho_l - \rho_v)\sigma\right]^{0.25} \quad (2.31)$$

เมื่อ f_1 = คือ Function of the Bond number ซึ่งหาได้ Bond number (Bo) ได้จากสมการ 2.32

$$Bo = D\left[\frac{g(\rho_g - \rho_v)}{\sigma}\right]^{0.5} \quad (2.32)$$

อย่างไรก็ตามค่า f_1 มีค่าคงที่เป็น 8.2 เมื่อ Bo > 11

ค่า f_2 คือ ค่าองค์ประกอบไร้หน่วยของความดัน (K_p) หาได้จากสมการ 2.33

$$f_2 = K_p^{-0.17} \quad \text{ถ้า} \quad K_p \le 4\times10^4$$

และ $$f_2 = 0.165 \quad \text{ถ้า} \quad K_p > 4\times10^4$$

โดยที่

$$K_p = \frac{P_v}{\left[g(\rho_l - \rho_v)\sigma\right]^{0.5}} \quad (2.33)$$

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียง (β) เทอร์โมไซฟอน RTPCT กับค่าองค์ประกอบการเอียงท่อ(f_3) ที่ Bond number ใดๆ พบว่าเมื่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะวางตัวในแนวดิ่ง ค่า f_3 จะมีค่าเป็น 1 ทุกกรณี อย่างไรก็ตามผลคูณของ $f_1 f_2 f_3$ บางครั้งจะเรียกว่า Kutateladze number [34]

2.2.7 ข้อสรุปที่ได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

ในการใช้งานควรออกแบบท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนให้ทำงานที่สภาวะต่ำกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ไม่ควรออกแบบให้ทำงานที่อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดพอดี เนื่องจากการคำนวณความต้านทานความร้อนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีขอบเขตของการคำนวณที่ต่ำกว่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ซึ่งพบว่าถ้าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าต่ำกว่า 70 % ของขีดจำกัดการไหลสวนทางแรงเฉือนของไอจะไม่มีผลต่อการไหลกลับของของเหลวที่กลั่นตัวของสารทำงาน เพราะฉะนั้นควรออกแบบให้ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน ทำงานที่ต่ำกว่าหรือไม่เกิน 50 % ของค่าการถ่ายเทความร้อน [34]

2.2.8 อัตราส่วนสนทัด (Aspect ratio)

อัตราส่วนสนทัด หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความยาวของส่วนทำระเหยต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเทอร์โมไซฟอน คุณสมบัติทางกายภาพนี้มีผลโดยตรงต่อกลไกการเดือดภายในระบบ หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าต่ำ ท่อเทอร์โมไซฟอนจะมีขนาดค่อนข้างสั้นและมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ การเดือดที่เกิดขึ้นภายในจะอยู่ในลักษณะของ pool boiling โดยมีฟองไอขนาดเล็กจำนวนมากก่อตัวและเคลื่อนที่จากบริเวณทำระเหยขึ้นสู่ส่วนควบแน่นได้อย่างรวดเร็ว รูปร่างของท่อที่อ้วนและสั้นช่วยเอื้อต่อการเคลื่อนที่ของฟองไอ จึงทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยรวมเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงข้าม เมื่ออัตราส่วนสนทัดมีค่ามากขึ้น ท่อจะมีลักษณะเรียวยาว ส่งผลให้ลักษณะการเดือดและการเคลื่อนที่ของฟองไอภายในเปลี่ยนแปลงไป และอาจทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง [32] การเดือดที่เกิดขึ้นภายในท่อจะเป็นการเดือดแบบที่เกิดอยู่ในช่องแคบฟองไอมีลักษณะเป็นรูปวงแหวนยาว จากลักษณะฟองไอที่เกิดขึ้นและรูปร่างของท่อความร้อนที่ผอมจะทำให้ฟองไอเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยไปสู่ส่วนควบแน่นได้ช้าลง หากฟองไอมีขนาดยาวมาก จะทำให้

ของเหลวที่กลั่นตัวมาจากส่วนควบแน่นไม่สามารถไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยได้ ดังนั้นจึงทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนไม่สามารถที่จะถ่ายเทความร้อนได้ หรือถ่ายเทความร้อนได้น้อยลง สำหรับอัตราส่วนสนทัดพื้นที่หน้าตัดกลม TPCT คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวส่วนทำระเหยกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเทอร์โมไซฟอน ดังแสดงในสมการ 2.34 สำหรับอัตราส่วนสนทัด (Aspect ratio) ความกว้างความยาวของ RTPCT แทน เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวส่วนทำระเหยกับขนาดสี่เท่าของรัศมีไฮดรอลิกส์ ดังแสดงในสมการ 2.35 ลักษณะทางกายภาพของ TPCT และ RTPCT ต่อปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนความของเทอร์โมไซฟอนที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (DGCST) [36]

สามารถหาอัตราส่วนสนทัดพื้นที่หน้าตัดกลม (TPCT) [36] ได้จากสมการ 2.34

$$\text{Aspect ratio} = \frac{L_e}{D_i} \tag{2.34}$$

เมื่อ L_e คือ ความยาวในส่วนทำระเหย (m)

D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

และสามารถหาอัตราส่วนสนทัดพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) [37] ได้จากสมการ 2.35

$$\text{Aspect ratio} = \frac{L_e}{4R_h} \tag{2.35}$$

เมื่อ R_h คือ รัศมีไฮดรอลิกส์ (m)

เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) หารัศมีไฮดรอลิกส์ [37] ได้จากสมการ 2.36

$$R_h = \frac{A}{W_p} = \frac{(\pi/4)Y^2 + (XY)}{\pi Y + 2X} \text{ is meaning } 4R_h = D_i \tag{2.36}$$

เมื่อ X คือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) (m)

Y คือ ความยาวของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) (m)

สำหรับพื้นที่การถ่ายเทความร้อน หมายถึง พื้นที่ผิวเทอร์โมไซฟอนบริเวณ ส่วนทำระเหย หรือพื้นที่ผิวบริเวณส่วนควบแน่น ในงานวิจัยนี้ความยาวของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเท่ากัน ทำให้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนเข้าส่วนทำระเหยและพื้นที่ถ่ายเทความร้อนออกจากส่วนควบแน่นมีค่าเท่ากัน ซึ่งพื้นที่การถ่ายเทความร้อนสามารถหาได้ [36] จากสมการ 2.37

$$A = \pi D L_e \tag{2.37}$$

เส้นสัมผัสเปียกหาได้จากสมการ 2.38 [36]

$$W_p = \pi Y + 2X \tag{2.38}$$

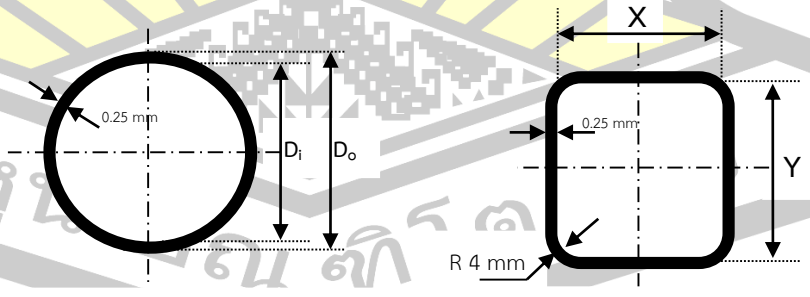
เมื่อ W_P คือ เส้นสัมผัสเปียก (m)

พื้นที่ตัดขวางหาได้จากสมการ 2.39 [37]

$$A = \frac{\pi Y^2}{4} + (XY) \tag{2.39}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดขวาง (m^2)

รูปทรงที่ใช้ คือ 1.ส่วนทำระเหย 2.ส่วนกันความร้อน 3.ส่วนควบแน่น ยึดท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดกลมแบบปิดสองสถานะ (TPCT) เป็นหลักขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน Di 25.2 mm โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (DGCST) เทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดลองนี้ จะมี 1 รูปทรง คือ เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) สำหรับเส้นสัมผัสเปียกและรัศมีไฮดรอลิกส์ เทอร์โมไซฟอนที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (DGCST) [14] ดังแสดงในภาพประกอบ 2.10



เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดกลม (TPCT) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

ภาพประกอบ 2.10 เทอร์โมไซฟอนที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (DGCST) พื้นที่หน้าตัดกลม (TPCT) เป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ของเทอร์โมไซฟอน

สำหรับการเปลี่ยนหน้าตัดเทอร์โมไซฟอนในงานวิจัยนี้ ถ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระยะ X เราพบว่าการเปลี่ยนแปลงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงช่วง Y ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่หน้าตัดเส้นสัมผัสเปียกและรัศมีของไฮดรอลิกส์ นั้นส่งผลต่อพื้นที่สัมผัสและคายความร้อน เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทตรงกลางหน้าตัดท่อที่แตกต่างกันความเร็วจะแตกต่างกัน ลักษณะ RTPCT ที่แตกต่างกันมีผลต่อรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนรูปแบบการไหลแต่ละแบบมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน [38]

2.3 รูปแบบการไหลสองสถานะ

การไหลสองสถานะ คือ การไหลของสสารที่มีสองสถานะ (Two-phase flow) ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กันสำหรับการเกิดรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเป็นการไหลของไอ (ก้อนไอ) และของเหลว (ก้อนของเหลว) ซึ่งมีความซับซ้อนมากในขณะที่เกิดการไหล เมื่อพิจารณารูปแบบการไหลแบบสองสถานะระหว่างไอและของเหลวที่เกิดขึ้นภายในท่อแนวดิ่ง และรูปแบบการไหลในแนวนอน [39] สามารถแบ่งได้ ดังต่อไปนี้

2.3.1 รูปแบบการไหลภายในท่อในแนวดิ่ง [40] ดังแสดงในภาพประกอบ 2.11 ประกอบไปด้วย

2.3.1.1 การไหลแบบกลุ่มฟอง (Disperse bubble flow) จะเกิดกลุ่มฟองเล็ก ๆ ในช่องว่างของของเหลวโดยระหว่างฟองจะมีแผ่นฟิล์มบางๆ หอหุ้มฟองไว้

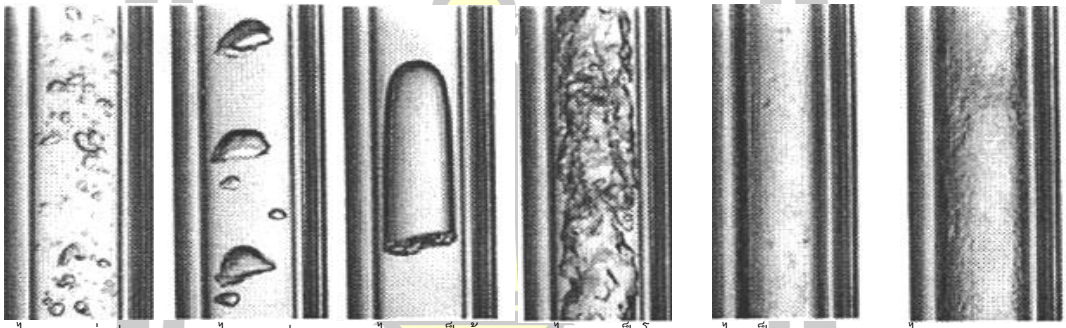
2.3.1.2 การไหลแบบฟอง (Bubble flow) เป็นรูปแบบที่สถานะของเหลวมีความต่อเนื่องโดยมีฟองกระจายเป็นจุดๆ ภายใน

2.3.1.3 การไหลแบบเป็นก้อน (Slug or plug flow) เป็นลักษณะการไหลที่ภายในท่อมีฟองไอขนาดใหญ่ก่อตัวเป็นช่วง ๆ คล้ายกับลูกกระสุน โดยระหว่างแต่ละช่วงของฟองไอจะมีของเหลวหรือฟองอากาศขนาดเล็กแทรกอยู่คั่นกลาง

2.3.1.4 การไหลแบบเป็นโพรง (Churn flow) เกิดขึ้นเมื่อความเร็วของการไหลเพิ่มสูงขึ้นจากช่วงการไหลแบบสลัก ทำให้ฟองไอขนาดใหญ่เริ่มรวมตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ส่งผลให้การไหลมีลักษณะปั่นป่วนและไม่คงที่ หากเป็นท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ มักพบว่าของเหลวจะเคลื่อนที่ขึ้นลงอย่างไม่สม่ำเสมอ แต่ในกรณีของท่อขนาดเล็ก การสั่นของของเหลวอาจไม่ชัดเจน และรูปแบบการไหลจะค่อย ๆ เปลี่ยนผ่านไปเป็นการไหลแบบวงแหวนแทน

2.3.1.5 การไหลแบบวงแหวน (Annular flow) มีลักษณะที่ของเหลวเคลื่อนตัวเป็นชั้นฟิล์มบางตามแนวผนังท่อ ส่วนกระแสไอจะเคลื่อนที่ผ่านใจกลางท่ออย่างรวดเร็ว โดยแรงจากการไหลของไออาจพาให้ของเหลวบางส่วนแตกกระจายเป็นละอองลอย และในบางกรณีฟองไออาจไหลแทรกเข้าสู่ชั้นฟิล์มของเหลวที่ผนังได้

2.3.1.6 การไหลแบบวงแหวนแทรก (Wispy annular flow) จะเกิดการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลในชั้นฟิล์มของเหลวบริเวณผนังท่อทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของหยดของเหลวภายในแนวแกนกลางของก๊าซ หยดของเหลวเหล่านี้อาจรวมตัวกันจนเป็นกลุ่มก้อนของเหลวขนาดใหญ่ ลักษณะการไหลเช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อการไหลของทั้งไอและของเหลวมีความเข้มข้นสูง [41]



ภาพประกอบ 2.11 รูปแบบการไหลสองสถานะ [39]

2.3.2 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะระหว่างไอและของเหลวที่เกิดขึ้นภายในท่อในแนวนอน [40] ดังแสดงในภาพประกอบ 2.12 ประกอบด้วย

2.3.2.1 การไหลแบบแยกชั้น (Stratified flow) สภาวะที่ของเหลวและก๊าซเคลื่อนที่ในแนวราบแยกออกจากกัน โดยของเหลวจะอยู่ด้านล่างของท่อ ส่วนก๊าซจะเคลื่อนผ่านด้านบนเหนือชั้นของเหลวนั้น ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของแรงดึงดูดโลก

2.3.2.2 การไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow) เกิดขึ้นเมื่อความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นจนทำให้ผิวรอยต่อระหว่างของเหลวและก๊าซเกิดการกระเพื่อมเป็นคลื่น ส่งผลให้ลักษณะการไหลไม่เรียบเหมือนแบบแยกชั้นปกติ

2.3.2.3 การไหลแบบฟองฟุ้ง (Dispersed bubble flow) สภาวะที่ก๊าซกระจายตัวอยู่ภายในของเหลวในรูปของฟองขนาดเล็กจำนวนมาก สำหรับการไหลในแนวนอน ฟองก๊าซมัก

ลอยสะสมอยู่บริเวณส่วนบนของท่อ แต่เมื่ออัตราความเร็วของการไหลเพิ่มสูงขึ้น ฟองเหล่านี้อาจกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ หรือรวมกันเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ได้ [40]

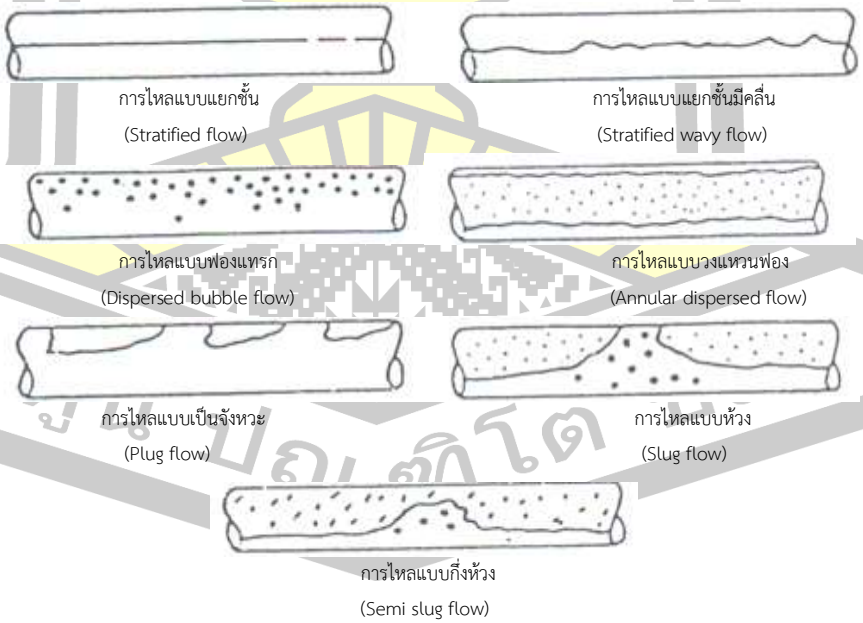
2.3.2.4 การไหลแบบวงแหวนฟุ้ง (Annular-dispersed flow) มีลักษณะใกล้เคียงกับการไหลแบบวงแหวนในแนวดิ่ง แต่ต่างกันตรงที่ความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวรอบผนังท่อไม่คงที่ โดยทั่วไปบริเวณส่วนล่างของท่อจะมีฟิล์มของเหลวหนากว่าส่วนอื่น ๆ

2.3.2.5 การไหลแบบเป็นช่วง (Intermittent Flow) เกิดขึ้นเมื่อของเหลวและก๊าซเคลื่อนที่เป็นช่วง ๆ ปรากฏรูปแบบซับซ้อนหลากหลายภายในท่อแนวนอน แม้ทั่วไปจะถือว่าเป็นการไหลประเภทเดียว แต่สามารถจำแนกรูปแบบย่อยออกเป็น 3 ลักษณะหลักได้ดังต่อไปนี้

2.3.2.5.1 การไหลแบบเป็นก้อน (Plug flow) ลักษณะการไหลที่ฟองอากาศมีรูปทรงคล้ายกระสุนและเคลื่อนที่ตามแนวท่อ คล้ายกับการไหลในท่อแนวดิ่ง แต่ฟองเหล่านี้มักเกาะอยู่บริเวณผิวท่อด้านบน

2.3.2.5.2 การไหลแบบเป็นห้วง (Slug flow) ลักษณะการไหลที่ของเหลวเคลื่อนตัวต่อเนื่องภายในท่อ แต่มีฟองก๊าซขนาดใหญ่แทรกอยู่ในกระแส ทำให้เกิดช่วงของก๊าซและของเหลวสลับกันภายในช่องทางไหล

2.3.2.5.3 การไหลแบบกึ่งห้วง (Semi slug flow) ลักษณะการไหลที่ฟองก๊าซเกิดเป็นคลื่นบนผิวของเหลว แต่ไม่รวมตัวจนปิดท่อหรือสัมผัสกับผนังด้านบน ทำให้กระแสของเหลวไหลต่อเนื่องได้โดยไม่ถูกกั้น [40]

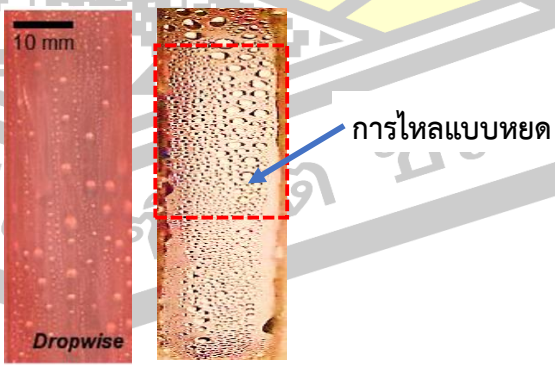


ภาพประกอบ 2.12 รูปแบบการไหลภายในท่อกลมแนวระดับ [41]

สำหรับเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมมีลักษณะทางกายภาพและรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน เช่น พื้นที่หน้าตัดของเทอร์โมไซฟอน เส้นสัมผัสเปียก รัศมีไฮดรอลิก และอัตราส่วนสนทัด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อรูปแบบการเดือดและการไหลของสารทำงานภายในของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม (RTPCT) พื้นที่หน้าตัด เส้นสัมผัสเปียก และรัศมีไฮดรอลิกที่เหมาะสมของเทอร์โมไซฟอนจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของไอระเหยอย่างรวดเร็วจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น ในทางกลับกันฟิล์มของเหลวของสารทำงานเหลวที่ควบแน่นไหลย้อนกลับสู่ส่วนทำระเหย รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) เนื่องจากรูปแบบการไหลแต่ละแบบมีความสามารถในการให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน

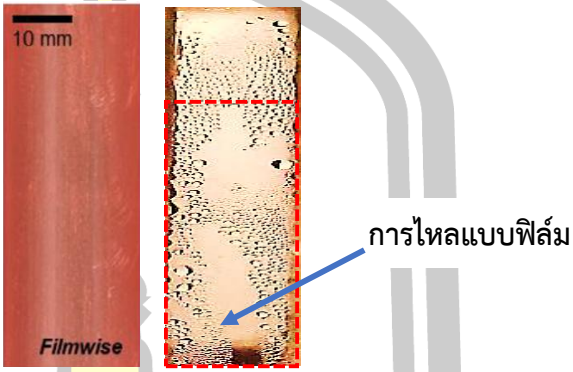
นักวิจัยกลุ่มหนึ่ง ทำการศึกษารูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมได้เสนอการจัดประเภทของรูปแบบการไหลโดยการสังเกตภาพวีดีทัศน์และภาพถ่ายไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีรูปแบบการไหลสองสถานะที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งโดยวิเคราะห์สถิติกับเวลา [42] เสนอการจัดประเภทรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น 3 รูปแบบ ซึ่งมีลักษณะการเกิดรูปแบบการไหลของสารทำงานภายในคล้ายกันกับผู้วิจัย สารทำงาน คือ 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราการเติม 50 % โดยปริมาตรส่วนทำระเหย

การไหลแบบหยด (Dropwise) คือ การควบแน่นแบบหยดน้ำเป็นกระบวนการที่หยดน้ำ [43] ควบแน่นเกิดขึ้นและกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ [44] บนพื้นผิวที่ไม่เปียกน้ำ (Hydrophobic surface) การควบแน่นแบบหยดน้ำมีลักษณะเฉพาะที่หยดน้ำจะสะสมตัวและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่พอแล้ว [45] หลุดจากพื้นผิว [46] ทำให้มีพื้นที่ผิวใหม่สำหรับการควบแน่นหยดน้ำใหม่ๆ [47] เกิดขึ้นต่อไป [48] ดังภาพประกอบ 2.13



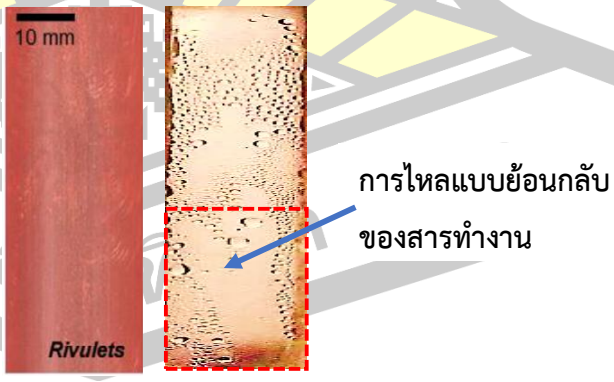
ภาพประกอบ 2.13 รูปแบบการไหลแบบหยด เทียบผลการทดลองของ [42]

การไหลแบบฟิล์ม (Filmwise) คือ การควบแน่นในรูปแบบฟิล์มเป็นกระบวนการที่ไอน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว [49] และก่อตัวเป็นชั้นบางๆ บนพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ปรากฏการณ์นี้มักจะเกิดขึ้นในกระบวนการควบแน่น โดยของเหลวจะเคลื่อนที่เป็นชั้นบาง ๆ [50] บนพื้นผิวที่เย็นกว่า ซึ่งทำให้สามารถสังเกตเห็นการก่อตัวของฟิล์มน้ำบางๆได้ [45], [42] ดังภาพประกอบ 2.14



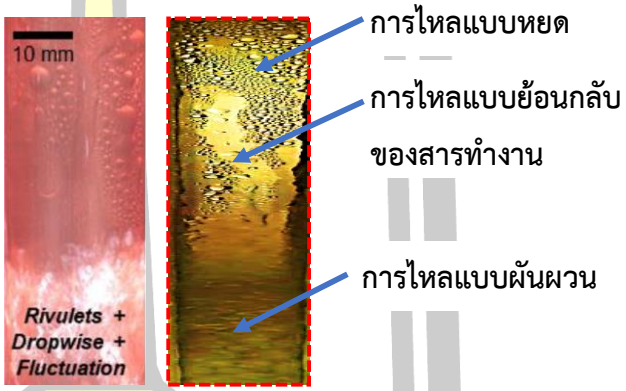
ภาพประกอบ 2.14 รูปแบบการไหลแบบฟิล์ม เทียบผลการทดลองของ [42]

การไหลแบบย้อนกลับ (Rivulets) คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการถ่ายเทของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการไหลบนพื้นผิวที่เอียงและเรียบ [51] ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเมื่อของไหล [52] เช่น น้ำปราศจากไอออน (DI) ไหลลงมาบนพื้นผิวที่เอียงและเกิดการรวมตัวเป็นเส้นหรือแถบเล็กๆ มักจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงตึงผิวและแรงโน้มถ่วงที่ทำให้ของไหลมีแนวโน้มที่จะรวมตัวเป็นเส้นยาวๆ แทนที่จะกระจายออกไป [53] การไหลแบบนี้มีความสำคัญในการศึกษาด้านการถ่ายเทความร้อนและมวล เนื่องจากมันสามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ [42] ดังภาพประกอบ 2.15



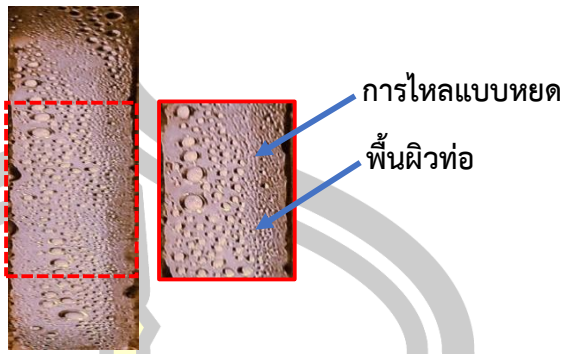
ภาพประกอบ 2.15 รูปแบบการไหลแบบย้อนกลับ เทียบผลการทดลองของ [42]

การไหลแบบผันผวน (Fluctuation) คือ ลักษณะของการไหลของของเหลวหรือก๊าซที่มีความไม่เสถียรและไม่แน่นอนในลักษณะการเคลื่อนที่ [54] การไหลนี้สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในรูปแบบของการไหลแบบหนืด (Laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) โดยทั่วไปแล้ว [55] การไหลแบบผันผวนจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในความเร็ว ความดัน [56] หรืออุณหภูมิของของเหลวหรือก๊าซในเวลาสั้น ๆ หรือเป็นระยะ ๆ [57] ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยภายนอกหรือภายในระบบ เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเคลื่อนที่ของวัตถุภายในของเหลว หรือการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่น [42] ดังภาพประกอบ 2.16



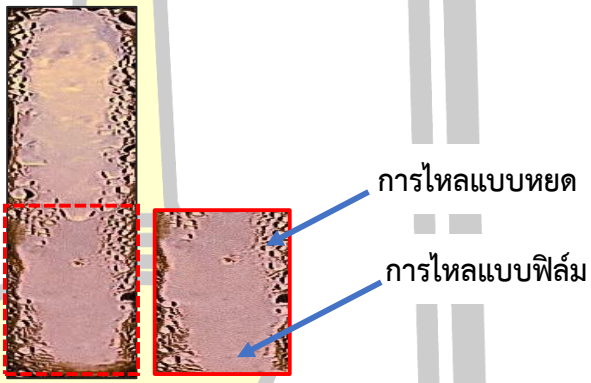
ภาพประกอบ 2.16 รูปแบบการไหลแบบผันผวน เทียบผลการทดลองของ [42]

ลักษณะการเกิดรูปแบบการไหลภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ของผู้วิจัยกิตติพล ขาวงาม สารทำงานที่ใช้ คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) อัตราการเติม 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย เกิดขึ้นที่ส่วนควบแน่น 3 รูปแบบ คือ 1.การไหลแบบหยด 2.การไหลแบบฟิล์ม 3.การไหลแบบย้อนกลับ กรณีสารทำงานที่ใช้ คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) รูปแบบการไหลที่พบ ของส่วนควบแน่น 3 รูปแบบ 1.การไหลแบบผันผวน 2.การไหลแบบหยด 3.การไหลแบบย้อนกลับ อัตราการเติม 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย ซึ่งมีลักษณะการเกิดรูปแบบการไหลภายในส่วนควบแน่นคล้ายกันและสอดคล้องกับ [42] ดังแสดงในภาพประกอบ 2.17, 2.18, 2.19, และ 2.20



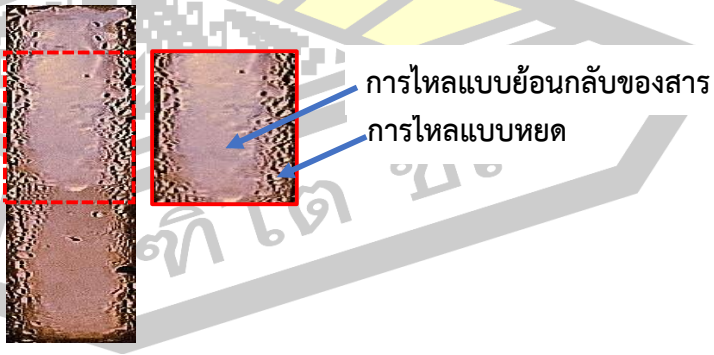
ภาพประกอบ 2.17 รูปแบบการไหลแบบหยด ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน(DI) อัตราการเติม 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย



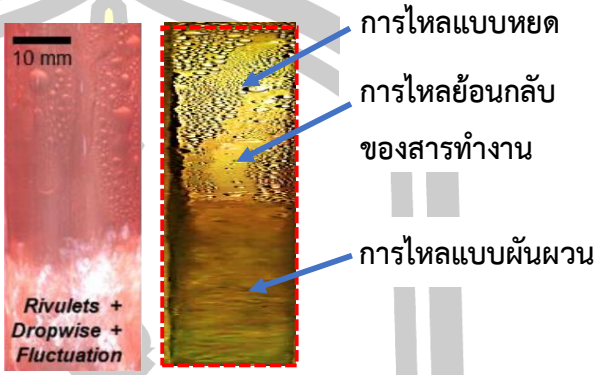
ภาพประกอบ 2.18 รูปแบบการไหลแบบฟิล์ม ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน(DI) อัตราการเติม 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย



ภาพประกอบ 2.19 รูปแบบการไหลแบบย้อนกลับ ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

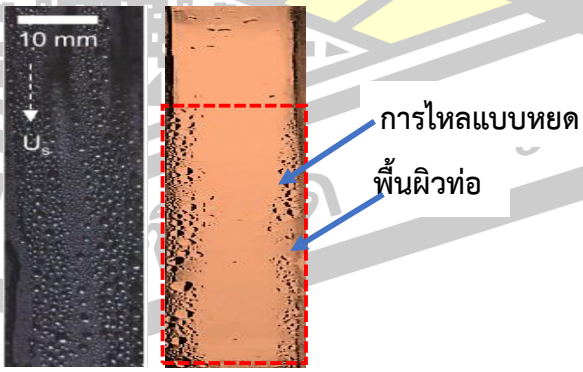
สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต (สารลดแรงตึงผิว) ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) อัตราการเติม 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย



ภาพประกอบ 2.20 รูปแบบการไหลแบบผันผวน ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

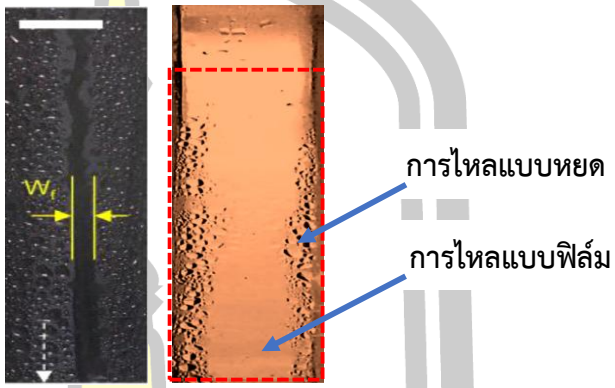
นักวิจัยกลุ่มเดียวกัน [58] ได้ศึกษาการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม สารทำงาน คือ เอทานอล อัตราการเติม FR 50 % ได้เสนอการจัดรูปแบบการไหลโดยการสังเกตภาพวีดีทัศน์และภาพถ่ายไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีรูปแบบการไหลสองสถานะที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งโดยวิเคราะห์สถิติกับเวลา เสนอการจัดประเภทดังนี้

การไหลแบบหยด (Dropwise) คือ การควบแน่นแบบหยดน้ำเป็นกระบวนการที่หยดน้ำควบแน่นเกิดขึ้นและกระจาย [59] ตัวเป็นหยดเล็กๆ บนพื้นผิวที่ไม่เปียกน้ำ (Hydrophobic surface) [60] การควบแน่นแบบหยดน้ำมีลักษณะเฉพาะที่หยดน้ำจะสะสมตัวและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่พอแล้วหลุดจากพื้นผิว ทำให้มีพื้นที่ผิวใหม่สำหรับการควบแน่นหยดน้ำใหม่ๆ เกิดขึ้นต่อไป [58] ดังภาพประกอบ 2.21



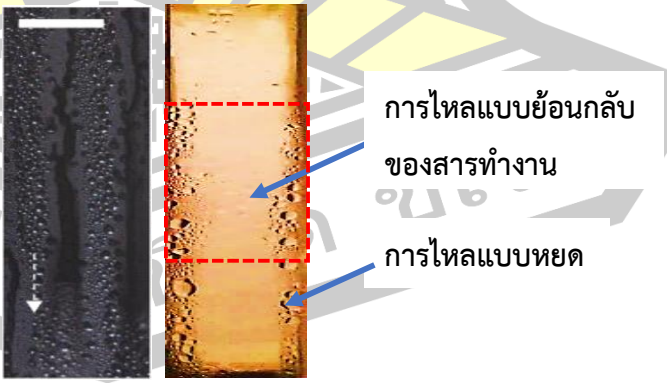
ภาพประกอบ 2.21 รูปแบบการไหลแบบหยด เทียบผลการทดลองของ [58]

การไหลแบบฟิล์ม (Filmwise) คือ การควบแน่นในรูปแบบฟิล์มเป็นกระบวนการที่ไอน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว [61] และก่อตัวเป็นชั้นบางๆ บนพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ปรากฏการณ์นี้มักจะเกิดขึ้นในกระบวนการควบแน่น โดยของเหลวจะเคลื่อนที่เป็นชั้นบางๆ บนพื้นผิวที่เย็นกว่า ซึ่งทำให้สามารถสังเกตเห็นการก่อตัวของฟิล์มน้ำบางๆได้ [58] ดังภาพประกอบ 2.22



ภาพประกอบ 2.22 รูปแบบการไหลแบบฟิล์ม เทียบผลการทดลองของ [58]

การไหลแบบย้อนกลับ (Rivulets) คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการถ่ายเทของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการไหลบนพื้นผิวที่เอียงและเรียบ [62] ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเมื่อของไหล (สารทำงาน เอทานอล) ไหลลงมาบนพื้นผิวที่เอียงและเกิดการรวมตัวเป็นเส้นหรือแถบเล็กๆ [63] มักจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงตึงผิวและแรงโน้มถ่วงที่ทำให้ของไหลมีแนวโน้มที่จะรวมตัวเป็นเส้นยาวๆ แทนที่จะกระจายออกไป การไหลแบบนี้มีความสำคัญในการศึกษาด้านการถ่ายเทความร้อนและมวล [64] เนื่องจากมันสามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ [58] ดังภาพประกอบ 2.23



ภาพประกอบ 2.23 รูปแบบการไหลแบบย้อนกลับ เทียบผลการทดลองของ [58]

2.4 แผนภูมิรูปแบบการไหล

แผนภูมิรูปแบบการไหล (Flow patterns map) เป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของรูปแบบการไหลระหว่างไอ (ก้อนไอ) กับของเหลว (ก้อนของเหลว) ภายในเทอร์โมไซฟอน RTPCT โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงรูปแบบการไหลและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลจากรูปแบบหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งแผนภูมิรูปแบบการไหลนี้จะมีลักษณะเป็นกราฟ 2 มิติ โดยแสดงช่วง (Regime) ของรูปแบบการไหลต่าง ๆ ที่ได้จากการนำผลการทดลองมาพล็อตกราฟแผนภูมิ โดยแผนภูมิรูปแบบการไหลในแนวดิ่งที่ได้รับความนิยมนำมาเสนอ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.24 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในรูปของโมเมนตัมฟลักซ์ (Momentum flux) โดยแกนตั้ง Y แทน โมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอ (Gas momentum flux) และแกนนอน X แทน โมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว (Liquid momentum flux) โมเมนตัมฟลักซ์ หมายถึง อัตราการส่งผ่านโมเมนตัมต่อพื้นที่ [41]

สำหรับค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอและโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว สามารถหาได้จากสมการ 2.40 และ 2.41

สมการสำหรับคำนวณค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว (Liquid momentum flux) หาได้จาก [21]

$$\rho_l u_l^2 = \frac{[G(1-x)]^2}{\rho_l} \tag{2.40}$$

สมการสำหรับคำนวณค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอ (Gas momentum flux) หาได้จาก

$$\rho_g u_g^2 = \frac{[Gx]^2}{\rho_g} \tag{2.41}$$

เมื่อ G คือ ค่าฟลักซ์มวล (Mass flux), (kg/m^{2}s)

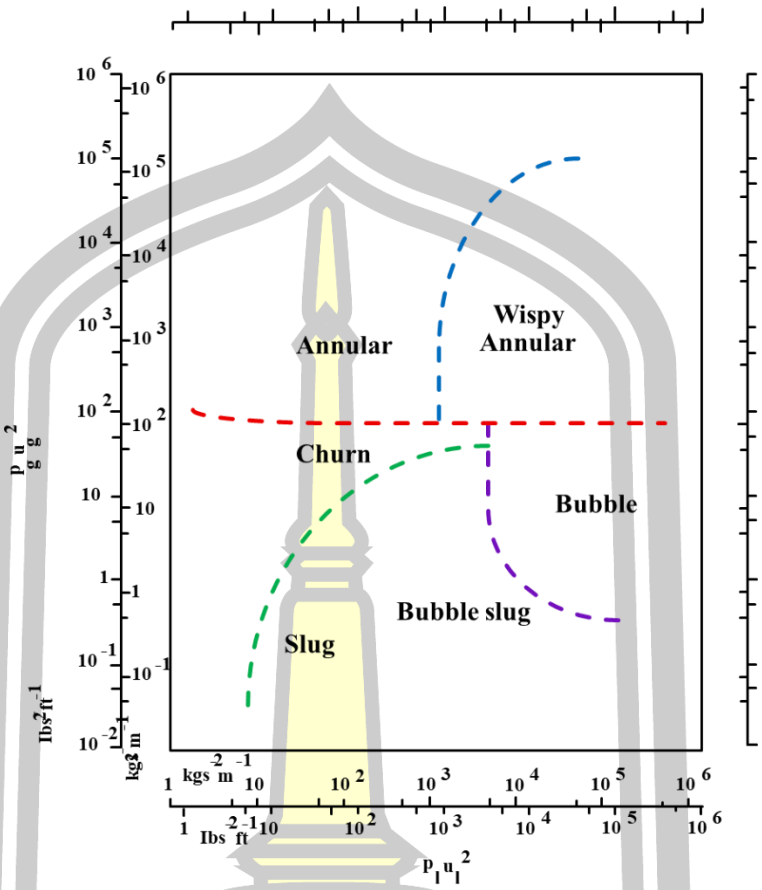
x คือ ค่าคุณภาพไอ (Vapor quality)

u_l คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid-velocity), (m/s)

u_g คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Superficial gas velocity), (m/s)

ρ_g คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะไอ (kg/m^3)

ρ_l คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของของเหลว (kg/m^3)



ภาพประกอบ 2.24 แผนภูมิรูปแบบการไหลของ [41]

สมการสำหรับหาค่าฟลักซ์มวลของการไหลสองสถานะ (Mass flux) คือ มวลที่ไหลผ่านพื้นที่ต่อหน่วยเวลา [21] หาได้จากสมการ 2.42

$$G = G_g + G_l \tag{2.42}$$

สมการสำหรับหาค่าฟลักซ์มวลของของเหลว (Liquid mass flux) คือ ผลคูณระหว่างความหนาแน่นของของเหลวกับ ความเร็วของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid velocity) หาได้จากสมการ 2.43

$$G_l = \rho_l u_l \tag{2.43}$$

สมการสำหรับหาค่าฟลักซ์มวลของไอ (Vapor mass flux) คือ ผลคูณระหว่างความหนาแน่นของไอกับความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Superficial gas velocity) หาได้จากสมการ 2.44

$$G_g = \rho_g u_g \tag{2.44}$$

เมื่อ G_l คือ ค่าฟลักซ์มวลของของเหลว (Liquid mass flux) (kg/m^{2}s)

G_g คือ ค่าฟลักซ์มวลของไอ (Vapor mass flux) (kg/m^{2}s)

สมการสำหรับหาค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid velocity) หาได้จากสมการ 2.45

$$u_l = \frac{\dot{V}_l}{A_s} = \frac{u_l A_s}{A_s} \tag{2.45}$$

สมการสำหรับหาค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Superficial gas velocity) หา [21] ได้จากสมการ 2.46

$$u_g = \frac{\dot{V}_g}{A_s} = \frac{u_g A_s}{A_s} \tag{2.46}$$

เมื่อ u_l คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของเหลว (m/s)

u_g คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (m/s)

$\dot{V}_l$ คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะของของเหลว (m^3/s)

$\dot{V}_g$ คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะไอ (m^3/s)

A_s คือ ค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลของสารทำงาน (m^2)

สมการในการหาค่าคุณภาพไอ (Vapor quality) ค่าคุณภาพไอเป็นสัดส่วนของการไหลทั้งหมด ซึ่งมักจะคิดในสถานะไอเป็นส่วนใหญ่ [21] หาได้จากสมการ 2.47

$$x = \frac{G_g}{G} = \frac{G_g}{G_g + G_l} \tag{2.47}$$

สำหรับการสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ ค่าคุณภาพไอจะสามารถคำนวณได้จากค่าเอนทาลปีหรือปริมาตรจำเพาะของสองสถานะและค่าเอนทาลปีหรือปริมาตรจำเพาะของของเหลวอิ่มตัวและสถานะไอ [21] ดังแสดงในสมการ 2.48

$$x = \frac{h_{TP} - h_l}{h_g - h_l} \text{ หรือ } x = \frac{v_{TP} - v_l}{v_g - v_l} \tag{2.48}$$

เมื่อ h_{TP} คือ ค่าเอนทาลปีของสองสถานะ (J/kg)

h_l คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะของของเหลว (J/kg)

h_g คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะไอ (J/kg)

v_{TP} คือ ค่าปริมาตรจำเพาะของสองสถานะ (m^3/kg)

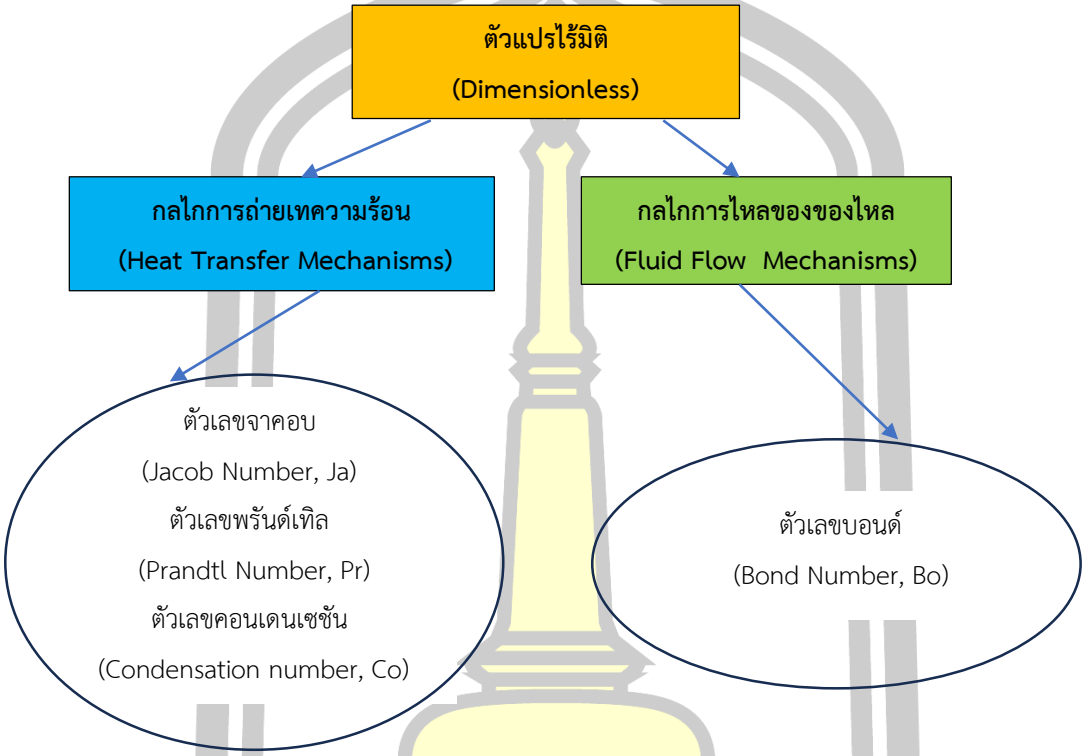
v_l คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะของของเหลว (m^3/kg)

v_g คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะไอ (m^3/kg)

2.5 ตัวแปรไร้มิติ

ตัวแปรไร้มิติ คือ กลุ่มของตัวแปรที่ไม่มีหน่วย ซึ่งได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักในระบบกับสมบัติเชิงฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ความเร่งโน้มถ่วง แรงตึงผิว และพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน โดยตัวแปรเหล่านี้ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบพฤติกรรมของของไหลในระบบต่าง ๆ ได้โดยไม่ขึ้นกับขนาดหรือหน่วยที่ใช้ ในการศึกษาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ซึ่งเกิดปรากฏการณ์เดือด การควบแน่น และการไหลของของไหลสองสถานะ ตัวแปรไร้มิติที่มีความสำคัญสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ 1. กลไกที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Mechanisms) 2. กลไกที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหล (Fluid Flow Mechanisms) เพื่อให้เห็นภาพรวมของความสัมพันธ์ระหว่างกลไกกับตัว

แปรไร้มิติดังกล่าว ได้จัดแสดงแผนภาพจำแนกหมวดหมู่ของตัวแปรไร้มิติตาม ภาพประกอบ 2.25 [32], [65]



ภาพประกอบ 2.25 แสดงการจัดกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) โดยแยกเป็นกลุ่มกลไกการถ่ายเทความร้อน และกลไกการไหลของของไหล

2.5.1 ปรากฏการณ์การเดือด

2.5.2 ปรากฏการณ์การควบแน่น

2.5.1 ปรากฏการณ์การเดือด

ตัวเลขบอนด์ (Bond Number, Bo) เป็นอัตราส่วนของแรงลอยตัวต่อแรงตึงของของไหลใดๆ สามารถนิยามได้ ดังแสดงในสมการ 2.49 [32], [65]

$$Bo = d\left[g\left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2.49)$$

เมื่อ Bo คือ ตัวเลขบอนด์

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อน RTPCT (m)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

ρ_l คือ ความหนาแน่นของเหลว (kg/m^3)

ρ_v คือ ความหนาแน่นของไอ (kg/m^3)

σ คือ แรงตึงผิว (N/m) [65]

จากสมการ 2.49 ด้านบนก็คือ แรงลอยตัวเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างฟองก๊าซที่เกิดจากการเดือดของของเหลวกับของเหลวรอบ ๆ ฟอง ทำให้ฟองพยายามลอยขึ้นสู่ผิวของเหลวด้านบน ในขณะเดียวกัน แรงตึงผิวของของเหลวทำหน้าที่ต้านการลอยตัวของฟอง กรณีที่ค่าตัวเลขบอนด์สูง แสดงว่าของเหลวเกิดการเดือดได้ชัดเจน ส่วนค่าตัวเลขบอนด์ต่ำหมายถึงความเป็นไปได้น้อยในการเกิดการเดือด [65]

ตัวเลขจาคอบ (Jacob Number, Ja) เป็นปรากฏการณ์การระเหยของสารทำงาน คือ อัตราส่วนของค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอต่อค่าความจุความร้อนของของเหลวใด ๆ ที่ได้รับ สามารถนิยามได้ดังนี้ ดังแสดงในสมการ 2.50 [32], [65]

$$Ja = \frac{h_{fg}}{Cp_l T_v} \tag{2.50}$$

เมื่อ Ja คือ ตัวเลขจาคอบ

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (J/kg)

Cp_l คือ ค่าความร้อนจำเพาะของสาร (J/kg.K)

T_v คือ อุณหภูมิไอ (°C) [65]

จากสมการ 2.50 ด้านบนคือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมที่ส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเมื่อได้รับความร้อนก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการควบแน่น เนื่องจากค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานมีค่าสูง จึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้โดยมีอุณหภูมิแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนด้านล่าง คือ ค่าความร้อนผสมของฟิล์มของเหลวที่ได้รับซึ่งจะเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อก้อนฟองไอและก้อนของเหลวที่ทำหน้าที่พา

ความร้อนจากส่วนทำระเหยไปถ่ายเทยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ก้อนฟองไอและก้อนของเหลวก็จะเกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลวและไหลลงสู่ส่วนทำระเหย ในขณะที่ก้อนฟองไอและก้อนของเหลวก็ยังคงทำหน้าที่พาเอาความร้อนขึ้นไปถ่ายเทยังส่วนควบแน่นนั้น ก้อนฟองไอและก้อนของเหลวบางส่วนก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับฟิล์มของเหลวที่ผนังท่อบางส่วน เมื่อเวลาผ่านไปก็จะเกิดการสะสมความร้อนขึ้นระหว่างฟิล์มของเหลวที่ผนังท่อกับก้อนฟองไอและก้อนของ เหลวที่นำพาเอาความร้อนไปถ่ายเทที่ส่วนควบแน่นจะมีอุณหภูมิเท่ากันก็จะเกิดการหอบเอาฟิล์มของเหลวที่ผนังท่อบางส่วนขึ้นไปยังส่วนควบแน่นด้วยซึ่งจะทำให้ฟิล์มของเหลวที่ผนังท่อภายในบางลงทำให้ของเหลวที่จะไหลลงสู่ส่วนทำระเหยลดลง ทำให้ค่าฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลง ในขณะที่ถ้าฟิล์มของเหลวที่ผนังท่อไม่เกิดการสะสมความร้อนกับก้อนฟองไอและก้อนของเหลวก็จะทำให้มีฟิล์มของเหลวที่จะไหลลงสู่ส่วนทำระเหยมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น [32, 65]

ตัวเลขพรันด์เทิล (Prandtl Number, Pr) เป็นปรากฏการณ์การพาความร้อนอัตราส่วนระหว่างค่าการสะสมความร้อนของของเหลวต่อค่าความร้อนที่ก้อนของเหลวสามารถถ่ายเทได้สามารถนิยามได้ ดังแสดงในสมการ 2.51 [32]. [65]

$$Pr = \frac{\mu_l Cp_l}{K_l} \qquad (2.51)$$

เมื่อ P_r คือ ตัวเลขพรันด์เทิล

μ_l คือ ความหนืด (Pa.s)

Cp_l คือ ค่าความร้อนจำเพาะของสาร (J/kg.K)

K_l คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเหลว (W/m.K) [65]

จากสมการ 2.51 ด้านบน คือ ปรากฏการณ์นี้แสดงถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างก้อนของเหลวกับฟองไอ เมื่อท่อเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดสี่เหลี่ยม RTPCT ได้รับความร้อน ของเหลวภายในท่อที่มีความจุความร้อนสูงกว่าจะถ่ายเทพลังงานความร้อนไปยังฟองไอ ทำให้เกิดการสะสมความร้อนในฟองไอ ซึ่งทำหน้าที่ขนส่งความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของก้อนของเหลวขึ้นอยู่กับค่าตัวเลขแพรนดัน (Pr) หาก Pr มีค่าสูง แสดงว่าก้อนของเหลวสามารถสะสมและถ่ายเทความร้อนได้มาก ส่งผลให้ฟลักซ์ความร้อนสูงขึ้น แต่หาก Pr มีค่าต่ำความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของก้อนของเหลวจะลดลง ทำให้ฟลักซ์ความร้อนลดลงด้วย

และในกรณีที่ Bo, Ja และ Pr มีค่าน้อยกว่า 1 การเปลี่ยนสถานะของสารทำงานจะไม่เกิดขึ้น [32], [65]

2.5.2 ปรากฏการณ์การควบแน่น

ตัวเลขคอนเดนเซชัน (Condensation number, Co) เป็นอัตราส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อนจากการพาต่อการถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนของสารทำงานภายในท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้ในการถ่ายเทความร้อนทั่วไป และการคำนวณการควบแน่นเฉพาะโดยปกติจะกำหนดไว้ในรูปแบบ ดังแสดงในสมการ 2.52 [32]

$$Co = \frac{h}{k} \times \left[\frac{\mu^2}{g \times \rho^2} \right]^{\frac{1}{3}} \qquad (2.52)$$

เมื่อ Co คือ คอนเดนเซชัน

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2.K$)

k คือ การนำความร้อน ($W/m.K$)

μ คือ ความหนืด ($Pa.s$)

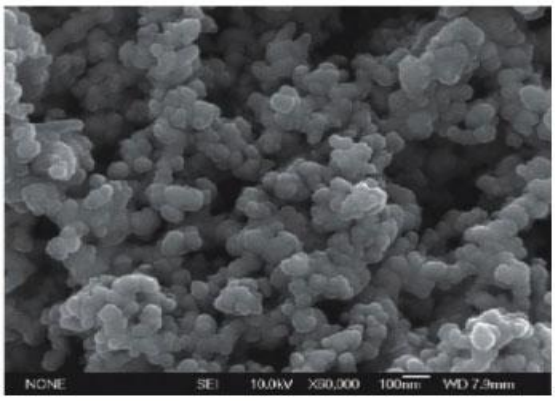
g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3) [32]

2.6 นาโนเทคโนโลยีและสารทำงานระดับอนุภาคนาโน

2.6.1 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)

นาโนเทคโนโลยี คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้างหรือการวิเคราะห์ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ในระดับนาโนเมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 2.26 (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) รวมถึงการออกแบบหรือการประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อใช้สร้างหรือวิเคราะห์วัสดุในระดับที่เล็กมาก ๆ เช่น การจัดอะตอมและโมเลกุล ในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุ หรืออุปกรณ์ มีสมบัติพิเศษ ไม่ว่าทางด้านกายภาพ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ [32]



ภาพประกอบ 2.26 อนุภาคของผงเงินอนุภาคระดับนาโน

สารทำงานในระดับอนุภาคนาโนผสมกับน้ำบริสุทธิ์ในความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มวลต่อปริมาตร การเตรียม Silver nano fluid มีขั้นตอนคือ การใช้วิธีการสังเคราะห์ด้วยสารทางเคมีโดยทำให้เป็นตะกอน ต่อจากนั้นนำ Silver nano fluid มาผสมกับน้ำบริสุทธิ์โดยไม่ให้มีการลอยตัวที่ผิวหน้าของน้ำบริสุทธิ์ [32]

2.6.2 สารทำงานระดับอนุภาคนาโน (Silver nano fluid)

2.6.2.1 สารทำงาน (Working fluid)

สารทำงานเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหย (Evaporator section) ไปยังส่วนควบแน่น (Condenser section) โดยสารการทำงานที่ใช้ในการเติมภายในท่อความร้อนนิยมใช้ประเภทน้ำและใช้สารทำงานที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ปัจจุบันได้พัฒนาการใช้สารทำงานกับท่อความร้อนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการส่งถ่ายความร้อนได้ดีขึ้นโดยใช้สารทำงานที่เป็นของไหลที่มีอนุภาคระดับนาโน เช่น เงิน ทองเหลือง ที่มีอนุภาคระดับนาโนเป็นสารทำงาน [66]

2.6.2.2 แร่ธาตุเงิน (Silver)

เงิน (Silver) คือ ธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 47 และสัญลักษณ์ คือ Ag (Argentum) เงินเป็นโลหะทรานซิชันสีขาวเงิน มีสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีมาก [32] ดังแสดงในภาพประกอบ 2.27



ภาพประกอบ 2.27 ลักษณะของอนุภาคผงเงิน

ตาราง 2.1 คุณลักษณะทั่วไปของแร่ธาตุเงิน [32]

เฟส	ของแข็ง	หน่วย
ความหนาแน่น	10.49	g/cm³
ความหนาแน่นของของเหลว	9.320	g/cm³
จุดหลอมเหลว	1,234.93	(961.78 °C)
จุดเดือด	2435	K(2162 °C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	11.28	kJ/mol
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	258	kJ/mol
ความร้อนจำเพาะ	25.35 (25°C)	J/(mol·K)

ตาราง 2.2 ความดันไอของแร่ธาตุเงิน [32]

P/Pa	1	10	100	1k	10k	100k
ที่ TK	1283	1413	1572	1782	2055	2433

ตาราง 2.3 คุณสมบัติของอะตอมของแร่ธาตุเงิน [32]

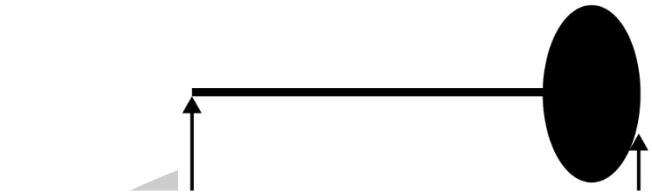
โครงสร้างผลึกของแร่ธาตุ	Cubic face centered
สถานะออกซิเดชัน	1 (Amphoteric oxide)
อิเล็กโตรเนกาติวิตี	1.93 (Pauling scale)
พลังงานไอออไนเซชัน	ระดับที่ 1 : 731.0 kJ/mol ระดับที่ 2 : 2070 kJ/mol ระดับที่ 3 : 3361 kJ/mol
รัศมีอะตอม	160 pm
รัศมีอะตอม (คำนวณ)	165 pm
รัศมีโควาเลนต์	165 pm
รัศมีวานเดอร์วาสส์	172 pm

ตาราง 2.4 คุณสมบัติทางความร้อนของแร่ธาตุเงิน [32]

การจัดเรียงทางแม่เหล็ก	Diamagnetic
ความต้านทานทางแม่เหล็ก	(20 °C) 15.87 nΩ·m
การนำความร้อน	(300 K) 429 W/(m·K)
การกระจายความร้อน	(300 K) 174 mm²/s
การขยายตัวจากความร้อน	(300 K) 174 mm²/s

2.7 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวเป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ คำว่า Surfactant มาจากคำว่า Surfactant active agent มีคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นหัว Hydrophilic Head (ชอบน้ำ) และส่วนหางที่เป็น Hydrophobic tail (ไม่ชอบน้ำแต่ชอบน้ำมัน) โดยหลักการทำงานของสารลดแรงตึงผิวคือ ส่วนที่ชอบน้ำจะทำการจับน้ำ และส่วนที่ชอบน้ำมันจะทำการจับสิ่งสกปรกพวกไขมันที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปแล้ว แขวนลอยอยู่ในน้ำ [32] ดังแสดงในภาพประกอบ 2.28

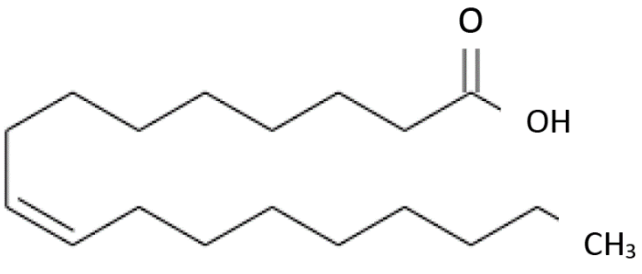


ภาพประกอบ 2.28 สารลดแรงตึงผิว [32]

2.7.1 กรดโอเลอิก (Oleic acid)

กรดโอเลอิกจัดว่าเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) หมายความว่าในโครงสร้างมีพันธะคู่ (double bond) ระหว่างอะตอมคาร์บอนบางตำแหน่งในห่วงโซ่คาร์บอน (R group) การมีพันธะคู่ดังกล่าวทำให้โมเลกุลของกรดโอเลอิกยังสามารถรับไฮโดรเจนเพิ่มเข้าไปได้อีกในตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัว กระบวนการนี้เรียกว่า hydrogenation นอกจากนี้ พันธะคู่ยังทำให้กรดโอเลอิกมีความ ว่องไวต่อปฏิกิริยาทางเคมี มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) เพราะพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่มีพลังงานสูงและสามารถเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้ง่าย เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเติมไฮโดรเจน หรือการเกิดเอสเตอร์ มีคุณสมบัติสำคัญที่ทำให้กรดโอเลอิกมีบทบาททั้งในกระบวนการทางชีวเคมีและการใช้งานทางอุตสาหกรรม เช่น การผลิตน้ำมันพืช น้ำมันปรุงอาหาร หรือสารตั้งต้นในการผลิตสบู่ ดังนั้นคุณสมบัติของกรดโอเลอิกและตำแหน่งพันธะคู่ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ สามารถสังเกตได้จาก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.29

- คุณสมบัติทั่วไปของกรดโอเลอิก [32]



ภาพประกอบ 2.29 กรดโอเลอิก [32]

ตาราง 2.5 คุณสมบัติทั่วไปของกรดโอเลอิก [32]

Oleic properties	
(9Z)-Octadecenoic acid	
(Z)-Octadec-9-enoic acid	
cis-9-Octadecenoic acid	
cis-Δ^9-Octadecenoic acid	
Oleic acid	18:1 cis-9
Molecular formula	$C_{18}H_{34}O_2$
Molar mass	282.4614 g/mol
Density	0.895 g/mL
Malting point	13-14 °C (286 K)
Boiling point	360 °C (633K) (760 mm Hg)
Solubility in water	Insoluble
Solubility in methanol	Soluble

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liu, Li, and Chen [67] การแสดงรูปแบบการไหลในเทอร์โมไซฟอนโดย ECT ขอบเขตการศึกษา 1) เทอร์โมไซฟอนทำจากท่อแก้ว D_o=15 mm หนา 1.5 mm 2) ความยาว L_E,L_A,L_C เท่ากัน 200 mm 3) สารทำงาน เอทานอล 4) เติมสารทำงาน 15 ml 5) อุณหภูมิน้ำ 20 °C 6) มุมเอียง 90° 7) แหล่งให้ความร้อนตั้งแต่ 30 V เพิ่มขึ้นที่ละ 10 V 8) การแสดงภาพการไหลของของเหลวจะใช้ (ECT) วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อศึกษารูปแบบการไหลภายใน TPCT ชนิดของของเหลวที่ใช้งาน 2) เพื่อศึกษา ECT โดยการทำงานของ TPCT ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของ TPCT ผลการทดลองพบว่า 1) รูปแบบการไหลต่างๆของสถานะของเหลวภายใน TPCT สามารถมองเห็นได้โดย ECT เมื่อใช้อัลกอริธึมสำหรับการสร้างภาพใหม่ที่เหมาะสม 2) เมื่ออัตราความร้อนเพิ่มขึ้นปลั๊กเหลวก็มีแนวโน้มที่จะมากขึ้นและรูปแบบการไหลไม่เสถียรมากขึ้น 3) ความหนาของฟิล์มชี้ให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัลกอริธึมการสร้างภาพใหม่ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อความแม่นยำที่ดีขึ้น มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ เอทานอล 1) หัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) มุมเอียงคล้ายคลึงกัน 90° 2) การแสดงภาพการไหลจะใช้ (ECT) ถูกติดตั้งไว้ตรงส่วนกันความร้อน ความ

แตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ -น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Kattan, Thome, and Favrat [68] การไหลและเดือดในท่อแนวนอน ส่วนที่ 1 การพัฒนาการไหลแบบสองสถานะแผนผังรูปแบบไดอะแบติก ขอบเขตการศึกษา 1) Sight glass ติดตั้งระหว่างท่อเพื่อดูรูปแบบการไหลภายใน D_o=12 mm L=100 mm ติดตั้งแบบอินไลน์กับทางเข้าและทางออกของส่วนการทดลองท่อระเหยแบบแนวนอนสองชุดที่ทำจากท่อทองแดงยาว 3 m 2) สารทำงาน R-134a, R-123, R-402A ,R-404A และ R-502 3) อัตราการเติมสารทำงาน 50 % 3) อุณหภูมิส่วนทำระเหย 85, 105 และ 125 ℃ วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อศึกษารูปแบบการไหลภายในลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการไหลสองสถานะเปรียบเทียบกับแผนผังรูปแบบการไหล 2) เพื่อศึกษาผลของสารทำงานที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของส่วนกันความร้อน ผลการทดลองพบว่า 1) แผนผังรูปแบบการไหลสองสถานะที่ปรับปรุงใหม่สำหรับการระเหยในท่อแนวนอน แผนผังใหม่ได้รับการพัฒนาโดยใช้ข้อมูลรูปแบบการไหลสำหรับห้าแบบที่แตกต่างกันของสารทำความเย็นที่ครอบคลุมความเร็วมวล บางอย่างเช่นหัวข้อวิจัยที่ต้องการศึกษา 3) มีการไหลสองสถานะเปรียบเทียบกับแผนผังรูปแบบการไหลแบบใหม่ ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงาน - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) – เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Kattan, Thome, and Favrat [69] การไหลและเดือดในท่อแนวนอน ส่วนที่ 2 การถ่ายเทความร้อนสำหรับสารทำความเย็น 5 ชนิด ขอบเขตการศึกษา 1) ท่อภายในของส่วนทดสอบท่อคู่ทำจากทองแดงและติดตั้ง Sight Glass ระหว่างท่อเพื่อดูของไหล D_o=12 mm 2) สารทำงาน R-134a, R-123, R-402A, R-404A และ R-502 3) อัตราการเติมสารทำงาน 50 % อุณหภูมิน้ำเย็นคงที่ 15 ℃ วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อศึกษารูปแบบการไหลภายในที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของการไหลสองสถานะเปรียบเทียบกับแผนผังรูปแบบการไหลใหม่ 2) เพื่อศึกษาผลของสารทำงานที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในส่วนกันความร้อนและลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการไหลสองสถานะ

เปรียบเทียบกับแผนผังรูปแบบการไหลไดอะแบติก ผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับการเดือดในการทดลองมีการนำเสนอตัวแปร R-134a, R-123, R-402A, R-404A และ R-502 ระเหยภายในท่อธรรมดาแนวนอนเปรียบเทียบผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการไหล R-404A นั้นใหญ่กว่าเล็กน้อยสำหรับ R-502 ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบเดียวกันในขณะที่ R-402A นั้นโดยเฉลี่ยแล้วเล็กกว่าเล็กน้อยที่คุณภาพไอต่ำ (ประมาณ 8-15 %) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุด ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Kim et al. [70] การแสดงภาพการไหลและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงแหวน ขอบเขตการศึกษา 1) เทอร์โมไซฟอนทำด้วยสแตนเลสสตีล D_o= 12 mm D_i=10 mm 2) ความยาวของท่อเทอร์โมไซฟอน L_E= 200 mm L_A=150 mm และ L_C= 300 mm 3) เทอร์โมไซฟอนที่ทดสอบทั้งแบบมีวัสดุพรุนและไม่มีวัสดุพรุน 4) ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบโปร่งใส่ควอตซ์และท่อเทอร์โมไซฟอนที่ติดตั้งวงแหวนภายใน 5) สารทำงาน น้ำ DI และ FC-72 6) อุณหภูมิน้ำเย็น 5 °C 7) ให้ความร้อนโดย Power supply ตั้งแต่ 30 W-130 W เพิ่มขึ้นทีละ 10 W 8) อัตราการเติมสารทำงาน 5, 10, 15 และ 20 ml วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อศึกษาเทอร์โมไซฟอนแบบปกติและท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงแหวนที่ติดตั้งวัสดุพรุนและไม่ติดตั้งวัสดุพรุน อัตราการเติมสารที่มีผลต่อประสิทธิภาพและรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน ผลการทดลองพบว่า 1) เทอร์โมไซฟอนที่ใช้สารทำงาน น้ำ DI ระบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนและท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงแหวน เกิดรูปแบบการไหลแบบฟองรูปแบบการไหลแบบกระสุนและการไหลแบบปั่นป่วนในท่อเทอร์โมไซฟอน อย่างไรก็ตามไม่พบการไหลของฟองในท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงแหวน ในกรณีของสารทำงาน FC-72 พบรูปแบบการไหลแบบฟองที่ภาระความร้อนโดยรวม มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ น้ำ (DI) 1) ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงาน - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Thongdaeng et al. [71] การแสดงภาพและการถ่ายเทความร้อนในเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ขอบเขตการศึกษา 1) ท่อที่ส่วนคอนเดนเซอร์มีมุมเอียง 45° กับแกนแนวนอน 2) อัตราการเติมสารทำงาน 50 % 3) ใช้ท่อแก้ว Pyrex D_i=11.6 mm 4) ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีความยาวเท่ากัน 300 mm 5) สารทำงาน Refrigerant 11 6) บอลวาล์วที่มีท่อทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 mm ซึ่งติดตั้งไว้ที่ส่วนกันความร้อน 7) อุณหภูมิน้ำเย็นคงที่ 20 °C 8) อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min 9) อุณหภูมิน้ำร้อน 75, 85 และ 95 °C วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อศึกษาผลของสารทำงาน อุณหภูมิส่วนทำระเหยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและมุมเอียง ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ 2) เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับกรณีศึกษาที่ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย 1) ผลการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิของส่วนทำระเหยสูงขึ้นจาก 75, 85 และ 95 °C อัตราการถ่ายเทความร้อนของ CLTP และ CLTP/CV เพิ่มขึ้นโดยมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ 126.18 และ 195.73 W ลักษณะการไหลของ CLTP รูปการไหลแบบฟอง/การไหลแบบการไหลแบบแยกชั้นปลายไปยังจุดสิ้นสุดของส่วนทำระเหย ในอีกด้านการติดตั้งวาล์วเพื่อเปลี่ยนพฤติกรรมการไหลจากการไหล/การไหลแบบแยกชั้นเป็นการเดือดของน้ำเท่านั้น CLTP/CV ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 33 % จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ 413.74 และ 625.92 W/m^2 °C เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง CLTP และ CLTP/CV จึงเป็นสาเหตุหลักที่ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าใน CLTP 2) ในการแสดงภาพการไหลกลไกการทำงานของ CLTP/CV ประกอบด้วย 2.1) การเดือดของนิวเคลียส สาเหตุของฟองอากาศนิวเคลียส, 2.2) การรวมตัวกันและการโตของขนาดฟอง 2.3) การแตกฟองบนพื้นผิวของเหลวด้านบนในส่วนทำระเหย 2.4) การสะสมความดันและเมื่อความดันเพียงพอไอที่ไหล/ในทิศทางขึ้นผ่าน เช็ควาล์ว เพื่อถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น ในทางกลับกันเมื่อความดันสูงเพียงพอในส่วนระเหยของ CLTP การไหลของฟองอากาศเป็นการไหลแบบแยกชั้นฟองอากาศเคลื่อนจากด้านซ้ายไปด้านขวาของส่วนทำระเหย ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) – เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Booddachan et al. [72] การประยุกต์เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบที่ติดตั้งวาล์กันกลับ (ALT/CV) ประสิทธิภาพและพฤติกรรมเชิงความร้อน ขอบเขตการศึกษา 1) (ALT/CV) ทำจากท่อทองแดง D_i=12.70 mm 2) อุณหภูมิของอากาศบริสุทธิ์ที่ส่วนควบแน่น 25 ℃ ความเร็วอากาศที่เข้าของส่วนควบแน่นเท่ากับ 0.6 m/s 3) ปริมาณความร้อนที่ให้ในส่วนทำระเหย 20 % ,40 %, 60 %, 80 % และ 100 % ของเครื่องที่มีแหล่งจ่ายความร้อน 2,000 W 4) อัตราการเติมสารทำงาน 30 %, 50 % และ 80 % โดยปริมาณของส่วนทำระเหย 5) ALT/CV เป็นวงรอบที่มีสามส่วน ส่วนทำระเหย, ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่น มีการพิจารณาขนาดวง สามขนาด 30, 40 และ 50 cm ติดตั้งครีบที่ความหนา 8 FPI ในส่วนควบแน่น 6) สารทำงานที่ใช้ 6.1) น้ำ (DI) 6.2) น้ำ (DI) ที่มีสารลดแรงตึงผิว 6.3) NF 6.4) NF ที่มีสารลดแรงตึงผิว 7) สารลดแรงตึงผิว 7.1) 0.5, 1 และ 1.5 wt% OA 7.2) 0.5, 1 และ 1.5 wt% OAK^+ วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อศึกษาผลของสารทำงาน อุณหภูมิส่วนทำระเหย,ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และค่าความต้านทานความร้อนที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของ (ALT/CV) ผลการทดลองพบว่า 1) ALT/CV ที่มีขนาดวงรอบ 50 cm พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดที่อัตราการเติมสารทำงาน 50 % และ OPHS 100 % เมื่อใช้งานทำงาน aNF ของ 0.5 wt% silver NPs และ 1 wt% OAK^+ วงรอบขนาด 50 cm และอัตราการเติมสารทำงาน 50 % เห็นพฤติกรรมการระบายความร้อนที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองทั้งหมดเงื่อนไขที่พิจารณาในการศึกษานี้ด้วย RTE ของประมาณ 2) ALT/CV ลดความดันลดลงซึ่งไม่มีนัยสำคัญในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นทำให้การเดือดแบบแอ่ง (Pool boiling) และปรากฏการณ์การควบแน่นซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเทียบกับ TPCT 3) ท่อ ALT/CV ให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ดีกว่าเทอร์โมไซฟอนทั่วไปประเภท เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับเหมาะสำหรับการใช้งานในวิศวกรรมการถ่ายเทความร้อน การปรากฏตัวของสารลดแรงตึงผิว เช่น OAK^+ ช่วยเพิ่มความร้อนได้อย่างชัดเจนอัตราการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติ NF มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงานที่ใช้ 2.1) น้ำ (DI) 2.2) น้ำ DI ที่มีสารลดแรงตึงผิว 2.3) NF 2.4) NF ที่มีสารลดแรงตึงผิว 3) สารลดแรงตึงผิว 3.1) 0.5, 1 และ 1.5 wt% OA 3.2) 0.5, 1 และ 1.5 wt% OAK^+ ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ – เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Parametthanuwat et al. [73] คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบปลายปิด (CE-TPCT) ขอบเขตการศึกษา 1) ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.5 mm ท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดลองมีสองรูปแบบ 1.1 เทอร์โมไซฟอนแบบ (TPCT) ธรรมดา 1.2 เทอร์โมไซฟอนแบบปลายปิด (CE-TPCT) 2) อัตราการเติมสารทำงาน 0 %, 30 %, 50 % และ 70 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย 3) สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน DI 4) อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50,70 และ 90 °C 4) มุมเอียง 90° 5) ความยาวแต่ละส่วน (Le) ความยาวส่วนทำระเหย 60 mm (La) ความยาวส่วนกันความร้อน 60 mm (Lc) ความยาวส่วนควบแน่น 60 mm 6) อัตราการไหลของน้ำเย็น 0.25 (l/min) 7) อุณหภูมิน้ำที่เข้าส่วนควบแน่น 20 °C วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อศึกษาผลของอัตราการเติมสารทำงาน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบธรรดา (TPCT) และเทอร์โมไซฟอนแบบปลายปิด (CE-TPCT) ที่มีต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน 2) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย ค่าความต้านทานความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบธรรดา (TPCT) และเทอร์โมไซฟอนแบบปลายปิด (CE-TPCT) ที่มีต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ผลการทดลองพบว่า 1) อุณหภูมิของส่วนทำระเหยเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนและฟลักซ์ความร้อน อุณหภูมิการระเหยที่เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและฟลักซ์ความร้อนด้วย ที่ส่วนทำระเหยอุณหภูมิ 90 °C อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดและฟลักซ์ความร้อนสูงสุดในทุกสภาวะการทำงานทั้ง CE-TPCT และTPCT 2) กรณี CE-TPCT ผลิตความร้อนรวมเฉลี่ยต่ำ ความต้านทานความร้อนต่ำตลอดการทดสอบ ค่าความต้านทานความร้อนรวมต่ำสุด ที่อุณหภูมิของส่วนทำระเหย 90 °C อัตราการเติมสารทำงาน 70 % ความต้านทานความร้อนรวมที่ต่ำกว่าส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนสูงสุดและค่าความร้อนเฉลี่ยตลอดการทดสอบเมื่อเทียบกับเงื่อนไขการทดสอบตัวอื่น ๆ 3) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนหรือค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของ CE-TPCT มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่อัตราการเติม 70 % เนื่องจาก Z_3 และ Z_7 ใน CE-TPCT ต่ำกว่า ความต้านทานความร้อนโดยรวมก็ลดลง เช่นกัน ดังนั้นโครงสร้างทางกายภาพที่ปรับเปลี่ยนของ CE-TPCT มีความสำคัญต่อค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของสารทำงานที่เดือดและควบแน่นในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 4) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสัมพัทธ์สูงสุดที่ได้จากสิ่งนี้การทดลอง คือ 4.1 ซึ่งพบในกรณีทดสอบของ CE-TPCT ที่อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย 90 °C ที่อัตราการเติมสารทำงาน 70 % การค้นพบนี้สอดคล้องกับอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ฟลักซ์ความร้อนสูงสุด ค่าความต้านทานความร้อนต่ำและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุด มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 1) ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงาน - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับ

โพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) – เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Dangeton et al. [29] การแสดงภาพการไหลของเทอร์โมไซฟอนชนิดลูปขนาดเล็ก ขอบเขตการศึกษา 1) เทอร์โมไซฟอนชนิดวงรอบขนาดเล็กได้รับการออกแบบสามเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของส่วนควบแน่นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของส่วนทำระเหยอัตราส่วน ซึ่งได้แก่ 1.4, 1.6 และ 1.8 2) ส่วนทำระเหยประกอบด้วยท่อทองแดงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14 mm และความยาว 135 mm ส่วนกันความร้อนประกอบด้วยหลอดแก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14 mm และยาว 135 mm ส่วนควบแน่นประกอบด้วยท่อทองแดงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 19, 22 และ 25 mm และความยาว 135 mm 3) ช่องของเหลวที่ส่งคืนประกอบด้วยหลอดแก้วที่มีภายในเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 mm ยาว 135 mm 4) สารทำงาน คือ เอทานอล 5) อัตราการเติมสารทำงาน 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย 6) อุณหภูมิของส่วนทำระเหย 70, 80 และ 90 °C วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ 1) เพื่อศึกษารูปแบบการไหลภายในส่วนกันความร้อนที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน ฟลักซ์ความร้อน ของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบลูป 2) เพื่อศึกษาอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในส่วนกันความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบลูป ผลการทดลองพบว่า 1) ผลการวิจัยทดลองพบว่า MLT ที่มีอัตราส่วน IDC/IDE ทั้งหมดที่ศึกษาในงานนี้สามารถทำได้แยกก๊าซออกจากการไหลของของเหลว เมื่อให้ความร้อนส่วนทำระเหยภายในจะไหลด้วยอัตราส่วน IDC/IDE ที่ 1.4 ถูกเปลี่ยนจากการไหลของฟองเป็นการไหลแบบกระสุน ด้วยที่อัตราส่วน IDC/IDE ที่ 1.6 การไหลภายในถูกเปลี่ยนจากการไหลของก้อนเป็นการไหลแบบปั่นป่วนด้วยอัตราส่วน IDC/IDE ที่ 1.8 รูปแบบการไหลภายในถูกเปลี่ยนจากการไหลแบบปั่นป่วนเป็นการไหลแบบวงแหวน 2) การศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วน IDC/IDE ที่ต่ำกว่าจะนำไปสู่ฟลักซ์ความร้อนที่สูงขึ้นนี้เกิดขึ้นที่แหล่งความร้อน 90 °C และ 1.4 IDC/IDE รูปแบบการไหล คือ การไหลแบบฟองแทรกความเร็วกลับของของเหลวในช่องส่งคืนไม่สอดคล้องกันเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของการไหลของของเหลว มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ เอทานอล 1) ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) –เอทานอล อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 3) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 4) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Kim et al. [74] การถ่ายความร้อนและรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซไฟแบบปิดสองสองสถานะ สารทำงาน 1.น้ำ 2.อะซิโตน และ 3.HFE7100 ขอบเขตการศึกษา 1) ช่องกึ่งทรงกระบอกยาว 650 mm มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 mm ทำจากบล็อกทองแดง 2) สารทำงาน น้ำ อะซิโตน และ HFE7100 3) ด้านหน้าแบนของช่อง คือ ปิดทับด้วยกระจกเพื่อการสังเกตรูปแบบการไหลด้วยสายตา 4) ปะเก็นยางวางอยู่ระหว่างแก้วและบล็อกทองแดงเพื่อปิดผนึกที่ปิดสนิท ประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนทำระเหยส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่น 245, 160 และ 245 mm ตามลำดับ 5) ด้านหลังของบล็อกทองแดงทั้งหมดถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนหนา 50 mm ไฟเบอร์กลาสมีการนำความร้อนต่ำ 0.04 W/m•K. ความร้อนจะสูญเสียไปที่กระจกด้านหน้า 6) อัตราการเติมสารทำงาน 0.25 และ 0.75 % 7) มุมเอียง 90°, 45° และ 10° วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อศึกษาผลของสารทำงาน อัตราการถ่ายเทความร้อน ประสิทธิภาพที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสองสถานะ 2) เพื่อศึกษาอุณหภูมิของส่วนทำระเหยอัตราการถ่ายเทความร้อน รูปแบบการไหลที่มีผลต่อการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสองสถานะ ผลการทดลองพบว่า 1) HTC ที่เดือดในตอนแรกนั้นสูงกว่าความสัมพันธ์ของ Rohsenow เนื่องจากการสัมพันธ์ของการเดือดและการระเหยของฟิล์มบางที่ส่วนทำระเหย ด้วยความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ HTC เดือดลดลงและในที่สุดก็ต่ำกว่าความสัมพันธ์ Rohsenow เนื่องจากการกักเก็บและการอบแห้ง 2) การเดือด HTC สำหรับน้ำลดลงในบริเวณที่มีฟลักซ์ความร้อนสูงซึ่งเกิดจากการเกิดจุดแห้งเฉพาะที่ด้านบนของเครื่องระเหย สังเกตเห็นปรากฏการณ์การไหลเวียนได้อย่างชัดเจนที่มุมเอียง 90° ใน TPCT โดยใช้ HFE7100 3) การควบแน่น ของสารทำงานที่ใช้ น้ำ HTC มีค่ามากกว่าสารทำงานที่ใช้ อะซิโตนและ HFE 7100 ในบริเวณฟลักซ์ความร้อนต่ำเนื่องจาก การควบแน่น ความหนาฟิล์มของอะซิโตนบางกว่าของ HFE 7100 ซึ่งการควบแน่นที่สูงขึ้น HTC ของอะซิโตนมากกว่า HFE7100 4) กรณี TPCT ที่ใช้สารทำงานเป็น น้ำ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ดีที่สุดของเหลวที่ใช้งานได้ทั้งสามแบบ ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของอะซิโตนมีมากกว่าน้ำที่บริเวณฟลักซ์ความร้อนสูงเนื่องจากการแห้งใน TPCT โดยใช้สารทำงานเป็นน้ำ มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ น้ำ 1) มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ คือ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) – เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมที่ใช้ในการทดลอง คือ 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Srimuang et al. [15] ได้ศึกษาการนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่เทอร์โมไซฟอนหน้าตัดแบน (FTPCT$_s$) ที่มี Nano silver powder ผสมน้ำเป็นสารทำงาน สำหรับเครื่องอุ่นอากาศ ขอบเขตการศึกษา 1) เครื่องอุ่นอากาศแบบ FTPCT ทำจากท่อสแตนเลสมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25.4 mm ซึ่งถูกบีบให้มีพื้นที่หน้าตัดลดลงจนหน้าตัดมีความแบน 10 mm 2) ความยาวของส่วนทำระเหย 300 mm ส่วนกันความร้อน 120 mm และส่วนควบแน่น 300 mm และวางท่อแบบสลับกันมีจำนวน 2 แถว รวมทั้งหมด 8 ท่อ เครื่องอุ่นอากาศแบบ FTPCT นี้ 3) สารทำงานที่ใช้มีสามกรณี 3.1 ไม่เติมสารทำงาน, 3.2 น้ำ 3.3 น้ำผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโน 4) บรรจุสารทำงาน 50 % ของปริมาตรภายใน FTPCT 5) กำหนดให้น้ำร้อนอุณหภูมิ 75 °C 6) อุณหภูมิของอากาศ 28 °C 7) ใช้อากาศอุณหภูมิห้องไหลผ่านส่วนควบแน่นด้วยความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 m/s ใช้พัดลม วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ 1) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ FTPCT ที่ออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นเครื่องอุ่นอากาศ ใช้พลังงานความร้อนเหลือจากน้ำร้อนที่เกิดจากการควบแน่นไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งความร้อนให้กับส่วนทำระเหย 2) นำผลการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับขนาดระบบ FTPCT ให้เหมาะสมกับสภาวะจริง พร้อมติดตั้งและทดสอบการทำงานในโรงงาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานจริงของระบบ ผลการทดลองพบว่า 1) การใช้สารทำงานเป็นน้ำผสมผงเงินระดับนาโนทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด อัตราการถ่ายเทความร้อนยังเพิ่มขึ้นตามความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านส่วนควบแน่น สำหรับอุณหภูมิผิวท่อส่วนควบแน่น พบว่ากรณีใช้น้ำผสมผงเงินนาโนมีค่าสูงสุด ส่วนกรณีใช้น้ำบริสุทธิ์สูงกว่าการไม่เติมสารทำงาน ขณะที่ความดันภายใน FTPCT ในสภาวะคงตัวอยู่ที่ 0.19 kPa สำหรับไม่เติมสารทำงาน 31.43 kPa สำหรับน้ำบริสุทธิ์ และ 34.52 kPa สำหรับน้ำผสมผงเงินนาโน ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านส่วนควบแน่นไม่มีผลต่อความดันภายในระบบ 2) เครื่องอุ่นอากาศได้รับการออกแบบใหม่เพื่อใช้ความร้อนจากน้ำควบแน่นจากคอนเดนเซอร์ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่ระบบเผาไหม้ ส่วนควบแน่นติดตั้งที่ท่ออากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ส่วนทำระเหยสัมผัสกับน้ำร้อนจากการควบแน่นไอน้ำ ขณะระบบหม้อไอน้ำทำงาน อุณหภูมิอากาศทั้งก่อนและหลังผ่านเครื่องอุ่นอากาศถูกบันทึก พบว่า เครื่องสามารถเพิ่มอุณหภูมิจาก 28.0 °C เป็น 38.9 °C และมีค่าประสิทธิผลอยู่ระหว่าง 0.60–0.70 มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 1) ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) – เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5,10 และ 20 4) มุมเอียง คือ 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Paramatthanuwat et al. [20] คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ ใช้สารทำงานน้ำผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโน ขอบเขตการศึกษา 1) มุมเอียงท่อ 90° 2) อัตราการเติมสารทำงาน 30, 50 และ 80 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย 3) เทอร์โมไซฟอนทำจากท่อทองแดงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.5, 11.1 และ 25.4 mm 4) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 5) สารทำงานที่ใช้ คือ น้ำผสมซิลเวอร์ระดับอนุภาคนาโน ที่ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้น 0.5 g/ml และน้ำปราศจากไอออน 6) อุณหภูมิในการทำงาน 40, 50 และ 60 °C 7) อุณหภูมิของน้ำเย็นส่วนควบแน่นคงที่ 20 °C 8) อัตราการไหลของน้ำควบแน่น 0.25 L/min วัตถุประสงค์นี้ 1) ผลของอุณหภูมิในการทำงานอัตราส่วนภาพเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ ผลกระทบต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบปิดโดยใช้น้ำปราศจากไอออน (De-ionized) หรือ DI ผสมกับซิลเวอร์นาโน ผลการทดลองพบว่า 1) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25.4 mm เทอร์โมไซฟอนโดยใช้น้ำที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนผสมกับซิลเวอร์นาโนมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุด และสูงกว่าเทอร์โมไซฟอนโดยใช้น้ำที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนตลอดค่าทั้งหมดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (พิจารณา L_e/d_i 5 อุณหภูมิในการทำงาน 50 °C อัตราการเติมสารทำงาน 50 %) 2) ที่อัตราส่วนสนทัด 20 เทอร์โมไซฟอนโดยใช้น้ำปราศจากไอออนผสมกับซิลเวอร์นาโนมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุด และสูงกว่าเทอร์โมไซฟอนโดยใช้น้ำที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน ตลอดทั้งค่าอัตราส่วนกว้างยาว (พิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm อุณหภูมิในการทำงาน 50 °C, อัตราการเติมสารทำงาน 50 %) 3) ที่อุณหภูมิทำงาน 60 °C เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเทอร์โมไซฟอน 25.4 mm โดยใช้น้ำที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนผสมกับซิลเวอร์นาโนอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (พิจารณา L_e/d_i 5 อัตราการเติมสารทำงาน 50 %) 4) ที่อัตราการเติมสารทำงาน 50 % ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด เทอร์โมไซฟอนทั้งสอง แบบใช้น้ำ น้ำปราศจากไอออน (De-ionized) ผสมกับซิลเวอร์นาโน หัวข้อวิจัยที่ต้องการศึกษา 1) มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น การใช้น้ำปราศจากไอออน (De-ionized) ผสมกับซิลเวอร์นาโน ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ คือ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Parametthanuwat et al. [75] การประยุกต์ใช้ซิลเวอร์นาโนฟลูอิดที่มีสารลดแรงตึงผิวกรดโอเลอิกในเครื่องประหยัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมไซฟอน ขอบเขตการศึกษา 1) ใช้เทอร์โมไซฟอนขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12.7 mm 2) ที่ความยาวของส่วนทำระเหยส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นความยาวเท่ากันทั้งสาม คือ 250 mm 3) อัตราการเติมสารทำงาน 30, 50 และ 80 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย 4) อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารหล่อเย็น (ในส่วนควบแน่น) คือ 1, 2.5 และ 5 L/min 5) สารทำงาน คือ ความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโนฟลูอิด (ซิลเวอร์นาโนฟลูอิด) 0.5 % w/v (NP) 6) สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 7) สารทำงาน คือ ของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว NP + OA เท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5 % w/v 8) อุณหภูมิของน้ำที่ควบแน่น 25 °C วัตถุประสงค์นี้ 1) ออกแบบและทดสอบเครื่องประหยัดพลังงานเทอร์โมไซฟอน เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ การให้ความร้อนเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องประหยัดอุณหภูมิ ผลการทดลองพบว่า 1) ที่อุณหภูมิการทำงาน 60, 70 และ 80 °C สารทำงานที่ใช้ คือ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว NP + OA เท่ากับ 1 % w/v จะมีฟลักซ์ความร้อนสูงกว่าสารทำงานใด ๆ ที่ใช้ในการทดสอบตลอดช่วงอุณหภูมิการทำงานและที่อุณหภูมิทำงาน 80 °C จะมีฟลักซ์ความร้อนสูงสุด (อัตราการไหลของน้ำกลั่น คือ 1 L/min อัตราการเติม 50 % โดยปริมาตรส่วนทำระเหย) 2) ที่อัตราการเติม คือ 30, 50 และ 80 % ปริมาตรของส่วนทำระเหย สารทำงานที่ใช้ คือ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว NP + OA เท่ากับ 1 % w/v มีฟลักซ์ความร้อนสูงกว่าสารทำงานทดสอบใด ๆ ตลอดอัตราส่วนการบรรจุทั้งหมด และที่อัตราการเติม 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย มีฟลักซ์ความร้อนสูงสุด (ใช้อัตราการไหลของน้ำกลั่น คือ 1 L/min ที่อุณหภูมิการทำงาน 80 °C) 3) ที่อัตราการไหลเชิงปริมาตร ฟลักซ์ความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลของปริมาตรเพิ่มขึ้น ของเหลวที่ใช้งานคือ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว NP + OA เท่ากับ 1 % w/v มีฟลักซ์ความร้อนสูงกว่าของเหลวทดสอบใด ๆ ตลอดอัตราการไหลเชิงปริมาตรทั้งหมด และอัตราการไหลของน้ำกลั่น คือ 5 L/min ฟลักซ์ความร้อนสูงสุด (ที่อุณหภูมิทำงาน 80 °C อัตราการเติม 50 % ของปริมาตรส่วนทำระเหย) บางอย่างเช่นหัวข้อวิจัยที่ต้องการศึกษา 1) มีตัวแปรที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงานที่ใช้งาน คือ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - ซิลเวอร์นาโนฟลูอิดความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) + ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว OA เท่ากับ 1 % w/v ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) โพแทสเซียมโอลีเอต (สารลดแรงตึงผิว) ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3) เอทานอล 4) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 5) มุมที่ใช้ในการทดลอง คือ 70°, 80° และ 90° 6) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Cai et al. [76] การศึกษาผลของคุณสมบัติของของเหลวที่ใช้ในเทอร์โมไซฟอนลูปแบบสองสถานะ (Two-phase loop thermosyphon TPLT) ขอบเขตการศึกษา 1) ชนิดของของเหลวที่ศึกษา น้ำ (H_2O) ,R134a 2) ช่วงอัตราการเติมเต็ม ตั้งแต่ 30 % ถึง 90 % เน้นที่อัตราสูง 60–90 %

ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมการไหลและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ยังไม่เคยมีการศึกษาเชิงลึกมาก่อน 3) ทดสอบ (TPLT) ใช้ท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm และท่อ PTFE เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12 mm ความยาวรวม = 1000 mm (ส่วนควบแน่น Lc = 400 mm, ส่วนทำระเหย Le = 300 mm, และส่วนกันความร้อน La = 300 mm) 4) แหล่งกำเนิดความร้อน DC power ขนาด 220 V, 10 A ช่วงอุณหภูมิของเขตทำความร้อนอยู่ระหว่าง 50 °C ถึง 200 °C 5) พารามิเตอร์ที่ศึกษา ฟลักซ์ความร้อนสูงสุด (Peak heat flux) รูปแบบของการไหล (Vapor–Liquid Regime) พฤติกรรมการสั่นสะเทือน ความผันผวนของอุณหภูมิ และการระเบิดของไอในระบบ วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ของระบบ TPLT ที่เติมของเหลว 2 ชนิด คือ น้ำ (H_2O) และ R134a ภายใต้ช่วงอัตราการเติมเต็มที่แตกต่างกัน 30–90 % เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของของเหลวในระบบ TPLT เมื่อใช้น้ำและ R134a เป็นของเหลวทำงาน เพื่อเข้าใจรูปแบบการไหล เช่น ฟอง (bubbly), ก้อน (slug), โพรงและวงแหวน (churn/annular), และน้ำพุร้อน (geyser boiling) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของคุณสมบัติของของเหลวที่เติมในระบบ TPLT ที่มีอัตราการเติมเต็มสูง ซึ่งเป็นบริเวณที่ยังไม่มีการศึกษาก่อนหน้านี้อย่างชัดเจน โดยเน้นการวิเคราะห์ภาพการไหลร่วมกับการวัดเชิงความร้อน เพื่อสนับสนุนการออกแบบและเลือกใช้ของเหลวที่เหมาะสมในงานที่ต้องการประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงในพื้นที่จำกัด ผลการทดลองพบว่า 1) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของ H_2O และ R134a น้ำ (H_2O) ให้ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุด (Peak Heat Flux) สูงถึง 390 W/cm² R134a ให้ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุดเพียง 270 W/cm² ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างนี้มีสาเหตุจากค่าพลังงานความร้อนแฝงของการระเหยที่สูงกว่าในน้ำ แม้ว่า H_2O จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า แต่ R134a ให้ความเสถียรของระบบอุณหภูมิที่ดีกว่า ข้อสรุปในภาพรวม H_2O เหมาะกับงานที่ต้องการประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง, ขณะที่ R134a เหมาะกับงานที่ต้องการความเสถียรของอุณหภูมิ 2) ศึกษาลักษณะการไหลของของเหลวในระบบ TPLT ลักษณะการไหลของ H_2O ประกอบด้วย Bubbly flow (การไหลแบบฟอง) Slug flow (การไหลแบบก้อน) Churn flow (การไหลแบบโพรง) Annular flow (การไหลแบบวงแหวน) Oscillatory flow (การไหลแบบสั่น) Geyser boiling (การไหลแบบน้ำพุร้อน) ลักษณะการไหลของ R134a พบว่าเป็น Bubbly, Slug, Churn, และ Geyser boiling ไม่มีการเกิดการไหลแบบวงแหวนหรือการสั่นที่เด่นชัดเหมือน H_2O การเกิด Geyser boiling พบในทั้ง H_2O และ R134a เมื่อใช้ อัตราการเติมเต็มสูง 60–90 % การไหลใน H_2O ทำให้เกิดแรงต้านการไหลมากกว่า เนื่องจาก slug และ churn flow มีขนาดใหญ่ขณะที่ R134a มีรูปแบบการไหลที่เสถียรกว่าและการเคลื่อนที่ของฟองมีความสม่ำเสมอมากกว่า 3) วิเคราะห์ผลของคุณสมบัติของของเหลวที่เติมในระบบ TPLT ที่มีอัตราการเติมเต็มสูงเมื่ออัตราการเติมเต็มอยู่ในช่วง 60–90 % พบว่า ระบบเกิด

แรงต้านการไหลมากขึ้น โดยเฉพาะใน H_2O การระเบิดของไอ (vapor explosion) หรือ Geyser boiling สังเกตได้ชัดเจนความผันผวนของอุณหภูมิและความดันมีมากใน H_2O คุณสมบัติของ H_2O ทำให้เกิดการ สะสมความร้อนแล้วปล่อยออกอย่างฉับพลัน ส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบในทางตรงกันข้าม R134a มีค่าความหนืดต่ำกว่า และมีการไหลของฟองที่กระจายตัวมากกว่า ทำให้ระบบทำงานได้เสถียรกว่าแม้ในระดับฟลักซ์ความร้อนสูงลักษณะความแตกต่างเชิงไหลนี้เป็นข้อมูลสำคัญในการเลือกของเหลวสำหรับระบบที่มีพื้นที่จำกัดแต่ต้องรับภาระความร้อนสูงงานวิจัยนี้ช่วยเติมเต็มช่องว่างของการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งมักเน้นอัตราการเติมต่ำ ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับพฤติกรรมระบบ TPLT ภายใต้ ภาวะเติมเต็มสูงที่ใกล้เคียงการใช้งานจริง มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ น้ำ 1) มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Qu et al. [77] ได้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการทำงานและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบเทอร์โมไซฟอนแบบสองเฟส โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบแบบธรรมดา (Two-Phase Loop Thermosyphon TPLT) และระบบที่มีการเสริมด้วยปั๊ม (Pump-Assisted Two-Phase Loop Thermosyphon PTPLT) สารทำความเย็น R245fa ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวทั้งสองระบบ ท่อที่ใช้เป็นชนิด PTFE มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน (Di) =10 mm และด้านนอก (Do) =12 mm ส่วนทำระเหย (Le) =125 mm และความยาวของท่อขด (Lc) =1130 mm รวมถึงท่อส่งไอน้ำ (vapor line) มีความยาว 52 mm ท่อน้ำเข้าเหนือ evaporator ที่ยาว 78 mm ขอบเขตการศึกษา 1) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจกลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ PTPLT ทั้งในแง่ของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลของของเหลว โดยใช้กล้องความเร็วสูงในการวิเคราะห์ลักษณะการไหล (flow patterns) ภายในระบบ เพื่อให้ได้ความเข้าใจอย่างชัดเจนเกี่ยวกับการเปลี่ยนผ่านระหว่างรูปแบบการไหล เช่น bubbly, slug, churn, annular และการเปลี่ยนผ่านแบบสลับ (alternating transitions) รวมถึงศึกษาผลกระทบของการใส่ปั๊มช่วยในด้าน thermal resistance และอัตราการถ่ายเทความร้อนแบบเดือดไหล (flow boiling heat transfer coefficient FBHTC) วัตถุประสงค์นี้ 1) วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลในระบบ TPLT และ PTPLT โดยใช้ภาพความเร็วสูง 2) ประเมินผลของการเสริมปั๊มต่อการเริ่มต้นทำงานของระบบและการลดความเสี่ยงของการเกิด dry-out 3) วัดและเปรียบเทียบ thermal resistance และค่า FBHTC ของ

ทั้งสองระบบภายใต้ช่วงกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ 4) สร้างแผนที่การไหล (flow regime map) เพื่อใช้ในการออกแบบระบบที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ผลการทดลองพบว่า 1) วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลในระบบ TPLT และ PTPLT ใช้ภาพความเร็วสูงจากการใช้กล้องความเร็วสูงถ่ายภาพพฤติกรรมการไหลในทั้งสองระบบ พบว่าระบบ PTPLT แสดงการเปลี่ยนผ่านของลักษณะการไหลที่ชัดเจนมากขึ้น โดยสามารถจำแนกลักษณะการไหลออกเป็นหลายรูปแบบ ได้แก่ bubbly flow, slug flow, churn flow, annular flow และยังพบ การเปลี่ยนผ่านแบบสลับ (alternating transitions) ระหว่างโหมดการไหลเหล่านี้อย่างชัดเจน ซึ่งสะท้อนถึงความเสถียรของการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นเมื่อมีการใช้ปั๊ม 2) ประเมินผลของการเสริมปั๊มต่อการเริ่มต้นทำงานของระบบและการลดความเสี่ยงของการเกิด dry-out การเติมปั๊มช่วยในระบบ PTPLT ส่งผลให้ระบบเริ่มต้นการทำงานได้ เร็วขึ้น และมีความราบรื่นกว่าระบบ TPLT อย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถลด ปัญหาอุณหภูมิสูงเกิน (temperature overshoot) และลดการเกิด ปรากฏการณ์ geyser boiling ที่มักเกิดในช่วงเริ่มต้นการทำงาน นอกจากนี้ ยังช่วยลดการเกิด dry-out ที่บริเวณตัวระเหย (evaporator) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการถ่ายเทความร้อนของระบบแบบธรรมดา 3) วัดและเปรียบเทียบ thermal resistance และค่า FBHTC ของทั้งสองระบบภายใต้ช่วงกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ในช่วงพลังงานตั้งแต่ 150–550 W ระบบ PTPLT มี thermal resistance (Rt) ต่ำกว่าระบบ TPLT อย่างชัดเจน อยู่ในช่วงลดลง 2.9–30.1 % ขึ้นอยู่กับระดับกำลังไฟที่จ่ายให้ระบบที่กำลังไฟ 550 W และกำลังของปั๊ม 2.4 W ค่าความต้านทานความร้อนลดลงเหลือเพียง 0.133 °C/W ซึ่งน้อยกว่าค่าของระบบ TPLT ถึง 16.9 % 4) สร้างแผนที่การไหล (flow regime map) เพื่อใช้ในการออกแบบระบบที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นด้วยการวิเคราะห์จากภาพการไหล สามารถสร้าง flow regime map ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงลำดับการเปลี่ยนผ่านระหว่างรูปแบบการไหลตามระดับพลังงานที่จ่ายให้ระบบ และสะท้อนถึงแนวโน้มที่การไหลจะเข้าสู่ annular flow ได้รวดเร็วขึ้นในระบบ PTPLT ซึ่งมีผลดีต่อการถ่ายเทความร้อนที่สม่ำเสมอค่าการถ่ายเทความร้อนในบริเวณ evaporator (FBHTC) เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟของระบบ 550 W กำลังปั๊ม 2.4 W พบว่า FBHTC สูงถึง 2972.6 W/(m²·K) เพิ่มขึ้นจากระบบ TPLT ถึง 12.3 % มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° 1) ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Sukkyung Kang and Jungho Lee [78] การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับผลของการจำกัด (Confinement Effect) ในเทอร์โมไซฟอนแบบสองสถานะขนาดเล็ก ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและของเหลวทำงานต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ขอบเขตการศึกษา 1) งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาผลของการจำกัด (Confinement Effect) ต่อการไหลแบบสองสถานะและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเทอร์โมไซฟอนแบบสองสถานะชนิดท่อแก้วกลม (Two-Phase Closed Thermosyphon TPCT) ขนาดเล็ก เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 5, 10, 15, 20 และ 25 mm ร่วมกับการใช้ของเหลวทำงานต่างชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น (DI Water), เอทานอล, อะซิโทน และ HFE-7000 ภายใต้สภาวะความร้อนที่หลากหลาย โดยมีค่าความหนาแน่นของฟลักซ์ความร้อน heat flux, q อยู่ในช่วง 2.5–20 kW/m² ขึ้นอยู่กับของเหลวแต่ละชนิดตัวท่อ TPCT ประกอบด้วยท่อควอตซ์โปร่งใส ความยาวรวม (LT) 910 mm แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนทำระเหย Le = 300 mm, ส่วนกันความร้อน La = 340 mm และส่วนควบแน่น Lc = 270 mm. ซึ่งทั้ง Le และ Lc ทำจากท่อทองแดง ขณะที่ La ทำจากท่อควอตซ์เพื่อสังเกตพฤติกรรมการไหลภายในรูปแบบการจำกัดที่ทดสอบ ประกอบด้วย 4 ลักษณะ ได้แก่ 1.ไม่มีการจำกัด (Unconfined) 2.การจำกัดแบบเป็นช่วงๆ (Intermittent confined) 3.การจำกัดต่อเนื่อง (Consecutive confined) 4.การจำกัดเต็มรูปแบบ (Fully confined) วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1) เพื่อศึกษาผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่แตกต่างกันของ TPCT ต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน 2) เพื่อวิเคราะห์ผลของชนิดของของเหลวทำงานที่แตกต่างกันในการนำความร้อน 3) เพื่อประเมินพฤติกรรมการไหลแบบสองเฟสภายใต้สภาวะจำกัดต่างๆ และเสนอเกณฑ์ในการทำงานที่มีเสถียรภาพ 4) เพื่อหาเกณฑ์เชิงตัวเลข เช่น ค่า Confinement Number (Co) และ Froude Number (Fr) ที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบ ผลการทดลองพบว่า 1) ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนพบว่า TPCT ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในใหญ่ขึ้น (โดยเฉพาะขนาด 25 mm) มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า TPCT ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากสามารถรองรับการไหลแบบสองเฟสได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการสะสมของไอน้ำ และช่วยส่งเสริมการควบแน่นและการเดือดที่เสถียรยิ่งขึ้น 2) ผลของชนิดของของเหลวทำงาน น้ำกลั่น (DI Water) ให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด โดยสามารถรับฟลักซ์ความร้อนได้มากกว่า 10 kW/m² เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการอัตราการนำความร้อนสูงเอทานอล และ อะซิโทน ให้ผลดีในช่วงฟลักซ์ความร้อนต่ำถึงปานกลาง < 7.5 kW/m² เนื่องจากมีค่าความดันไอและอุณหภูมิเดือดต่ำ ส่งผลให้การระเหยเกิดได้ง่ายแต่ไม่เหมาะกับโหลดความร้อนสูง HFE-7000 เหมาะสำหรับสภาวะฟลักซ์ความร้อนต่ำ ~2.5 kW/m² โดยมีข้อได้เปรียบในด้านความปลอดภัยและคุณสมบัติที่ไม่ติดไฟ แต่มีข้อจำกัดในด้านอัตราการถ่ายเทความร้อน 3) พฤติกรรมการไหลแบบสองเฟสภายใต้สภาวะจำกัดการสังเกตพฤติกรรมการไหลภายใน

ท่อควอตซ์แสดงให้เห็นว่าการจำกัดรูปแบบต่าง ๆ ส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างของฟองไอ การไหลแบบ slug flow, annular flow และ bubbly flow เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการจำกัดรูปแบบ Fully Confined และ Consecutive Confined ทำให้เกิดการสะสมของไอในบางตำแหน่ง ซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียสมรรถนะรูปแบบ Unconfined ช่วยให้การไหลของของเหลวและไอเป็นไปอย่างต่อเนื่องและเสถียร โดยเฉพาะในท่อขนาดใหญ่ 4) เกณฑ์เชิงตัวเลขสำหรับการทำงานอย่างเสถียร งานวิจัยนี้ได้เสนอเกณฑ์ค่าตัวเลขสำคัญ ได้แก่ เมื่อค่า Confinement Number (Co) และ Froude Number (Fr) อยู่ต่ำกว่า 0.3 ระบบ TPCT จะแสดงพฤติกรรมที่เสถียร ไม่เกิดการสะสมของไอหรือของเหลวในปริมาณมากจนส่งผลให้เกิด dry-out หรือ flooding การใช้ค่า Figure of Merit (FOM) ช่วยบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพทางความร้อน พบว่า TPCT ที่มีค่า FOM สูง (เช่น ใช้น้ำในท่อขนาดใหญ่) ให้ผลการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ น้ำกลั่น และเอทานอล 1) มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Shukla and Kumar [79] การศึกษาผลของความไม่สมมาตรภายในท่อความร้อนแบบพัลซิ่ง (PHP) ต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยการสอดลวดทองแดงในคอลัมน์เดียว ขอบเขตการศึกษา 1) UPHP (Uniform PHP) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Di) สม่ำเสมอที่ 2.5 mm 2) DPHP (Dual-diameter PHP) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในสองระดับ คือ 2.5 mm และ 1.8 mm 3) WAPHP (Wire-Asymmetric PHP) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.5 mm เท่ากันตลอด แต่สอดลวดทองแดงเข้าไปในคอลัมน์เดียว เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดแตกต่างกัน ได้แก่ 0.7 mm, 1.2 mm และ 1.7 mm PHP ทั้งหมดสร้างขึ้นจากแก้วโบโรซิลิเกต และใช้ DI Water เป็นของเหลวทำงาน โดยทดสอบภายใต้ภาระความร้อนที่เพิ่มจาก 5 W จนถึง 65 W ในช่วงละ 5 W และควบคุมให้ผนังของส่วนระเหยไม่เกิน 120 °C. วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1) เพื่อศึกษาผลของความไม่สมมาตรในท่อความร้อนแบบพัลซิ่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของท่อและการสอดลวดทองแดงต่อพฤติกรรมการไหลและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน การไหลแบบ slug-plug, การไหลแบบ annular, การไหลแบบ churn , การไหลแบบ oscillating, การไหลแบบ circulation 2) เพื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของ PHP รูปแบบต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราการเติม (Filling Ratio FR), มุมเอียง (Inclination Angle IA),

และภาระความร้อน ผลการทดลองพบว่า 1) WAPHP ที่มีลวดทองแดงขนาด 1.2 mm มีค่าความต้านทานความร้อนต่ำสุด 1.27 K/W, WAPHP ให้ประสิทธิภาพเหนือกว่า UPHP และ DPHP อย่างชัดเจน ลวดทองแดงใน WAPHP ช่วยกระตุ้นการไหลของของเหลวภายในท่อได้ดี 2) มุมเอียง IA 60° และ 90° ช่วยลดความต้านทานความร้อนได้มาก มุมเอียง IA 60° ค่า Rt ลดลง 60 % จาก UPHP และ 55.5 % จาก DPHP WAPHP 1.7 mm เริ่มทำงานเร็วที่สุดในแนวตั้ง และยังไม่มี dry-out แม้เพิ่มภาระความร้อน WAPHP ทำงานได้เสถียรในมุมเอียงสูงถึง 15° ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่า การออกแบบ PHP แบบไม่สมมาตรโดยการสอดลวดทองแดงในคอลัมน์เดียวสามารถ เพิ่มการกระตุ้นการไหลแบบ oscillating และลดความต้านทานความร้อนโดยรวม ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสนับสนุนแนวคิดของการเพิ่มความไม่สมมาตรเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของ PHP ตามวัตถุประสงค์การศึกษา มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 1) มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Tong et al. [80] ได้ศึกษาการควบคุมการแกว่งของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบสองสถานะ (Two-Phase Loop Thermosyphon) ด้วยวาล์ว กรณีศึกษาการไหลเวียนแบบธรรมชาติและการเดือดแบบไกเซอร์ รายละเอียดของระบบที่ใช้ในการศึกษา แผ่นทำความร้อนทองแดง 3 แผ่น มีรูแนวตั้งแผ่นละ 20 รู Di = 4 mm, ตัวควบแน่นประกอบด้วยท่อทองแดง 3 แถว รวม 60 ท่อ Di = 4 mm, ท่อหลักเชื่อมต่อมี Di = 9 mm, ความสูงของรูแนวตั้ง (H) = 38 cm, ความยาวตัวควบแน่น (Lc) = 380 mm, ใช้แผ่นความร้อนไฟฟ้าให้ ฟลักซ์ความร้อนในช่วง 150–600 W มีท่อ Riser (ลำเลียงขึ้น) และ Downcomer (ลำเลียงลง) ขอบเขตของการศึกษา 1) ทำการทดลองระบบเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบสองสถานะ (TPLT) สารทำงาน คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 2) วิเคราะห์พฤติกรรมการแกว่ง 2 ลักษณะในระบบ TPLT ได้แก่ การไหลเวียนแบบธรรมชาติ (Natural Circulation Oscillation) ,การเดือดแบบไกเซอร์ (Geyser Boiling) 3) ศึกษาผลของการปรับอัตราการเติมสารทำงาน (Filling Ratio FR) ต่อพฤติกรรมการแกว่ง พบว่า FR = 68 % ทำให้เกิดการไหลเวียนแบบธรรมชาติ มีคาบการแกว่งสั้น ~12 วินาที FR = 55 % ทำให้เกิด Geyser Boiling มีคาบการแกว่งยาว ~74 วินาที 4) วิเคราะห์รูปแบบการไหลในท่อลำเลียงลง (Downcomer) สำหรับการไหลเวียนแบบธรรมชาติ พบ bubbly flow และ churn flow ,สำหรับ Geyser Boiling พบ

bubbly flow, annular flow, และ wavy annular flow วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1) เพื่อศึกษาผลของการปรับมุมเปิดของวาล์ว (θ) ต่อพฤติกรรมการแกว่งในระบบ TPLT 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวาล์วในการควบคุมการไหลเวียนแบบธรรมชาติ และความสามารถในการควบคุมการเดือดแบบไกเซอร์ 3) เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาระบบควบคุมเชิงรุกในระบบถ่ายเทความร้อนที่ใช้ TPLT ผลการทดลองพบว่า 1) การไหลเวียนแบบธรรมชาติ (Natural Circulation Oscillation) การลดมุมเปิดของวาล์วจาก 100 % ถึง 75 % ทำให้ระบบเปลี่ยนจากสถานะไม่เสถียรเป็นเสถียร , ค่า thermal resistance (R) เพิ่มขึ้นเพียง 0.0003 °C/W (1.7 %) การลดมุมเปิดของวาล์วจาก 100 % ถึง 25 % ค่า R เพิ่มขึ้นเพียง 0.0002 °C/W (1.1 %) ระบบยังคงมีสมรรถนะถ่ายเทความร้อนในระดับดี การเดือดแบบไกเซอร์ (Geyser Boiling) 2) ,การควบคุมด้วยวาล์วไม่สามารถลดการแกว่งได้แม้ว่าจะลดมุมเปิดของวาล์วเหลือเพียง 25 % , ระบบยังคงมีพฤติกรรมการแกว่งไม่เปลี่ยนแปลง มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Chu et al. [81] การศึกษาสมรรถนะของท่อความร้อนแบบผสม (Hybrid Heat Pipe HHP) ที่มีช่องไหลสลับขนาด เพื่อรองรับภาระความร้อนที่แปรปรวน ขอบเขตของการศึกษา 1) ศึกษาการออกแบบท่อความร้อนแบบผสม (Hybrid Heat Pipe HHP) ที่มีช่องไหลขนาดต่างกัน ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก, ช่องทางใหญ่ Dh=4 mm (มากกว่าค่าขีดจำกัด อยู่ 27.8 %) ,ช่องทางเล็ก Dh=2.4 mm (น้อยกว่าค่าขีดจำกัด อยู่ 23.3 %) 2) จัดวางช่องไหลทั้งสองขนาดภายในแผ่นทองแดงเดียวกัน เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบผสม 3) ใช้แผ่นเซรามิกขนาด 20 × 86 × 2 mm เป็นแหล่งให้ความร้อน ป้อนพลังงานความร้อนระหว่าง 10–80 W (เพิ่มทีละ 10 W) 4) ใช้เอทานอล เป็นสารทำงานในการทดลอง 5) วิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของ HHP ด้วยวิธีการสังเกตเชิงภาพ (visualization) และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1) เพื่อพัฒนาและทดสอบท่อความร้อนแบบผสม (HHP) ที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้มีประสิทธิภาพภายใต้ภาระความร้อนที่เปลี่ยนแปลง 2) เพื่อศึกษาผลของขนาดช่องทางไหลและอัตราการเติม (Filling Ratio FR) ที่มีต่อกลไกการถ่ายเทความร้อนภายใน HHP 3) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของ FR ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิเริ่มต้นและการเปลี่ยนพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากการเปลี่ยนเฟสไปสู่การไหลแบบสั่น ผลการทดลองพบว่า 1) HHP แสดงสมรรถนะในการเปลี่ยนรูปแบบการถ่ายเทความร้อนจากการเปลี่ยนเฟส

ในช่องทางใหญ่ ไปสู่การทำงานร่วมกันของการเดือดแบบเกย์เซอร์และการไหลแบบสั่นในช่องเล็ก, การออกแบบ HHP แบบสองขนาดช่วยรองรับภาระความร้อนที่เปลี่ยนแปลง โดยการถ่ายเทความร้อนสามารถเพิ่มขึ้นตามลักษณะการไหลที่พัฒนา , พฤติกรรมการไหลเปลี่ยนไปตามระดับภาระความร้อน แสดงให้เห็นว่า HHP มีความยืดหยุ่นสูงต่อความต้องการด้านการจัดการความร้อน 2) พบว่า FR มีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของการเริ่มต้นการไหลแบบสั่น (TR) ,เมื่อ FR < 47.6% ส่งผลให้ TR ลดลงตาม FR , เมื่อ FR > 47.6 % ส่งผลให้ TR ลดลงอีกเช่นกัน, แสดงให้เห็นว่าทั้งค่า FR ที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปล้วนส่งผลกระทบต่อกลไกการไหลและอุณหภูมิภายในระบบ, HHP ที่มี FR ต่ำกว่า 47.6 % แสดงสมรรถนะดีกว่าในการไหลแบบผสม 3) ระบุอย่างชัดเจนว่าค่า FR ที่ 47.6 % เป็นจุดเปลี่ยนสำคัญ, ต่ำกว่าค่านี้ส่งผลให้ การไหลแบบสั่นเกิดได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพดีกว่า, สูงกว่าค่านี้ส่งผลให้ ประสิทธิภาพลดลงอีก แม้ปริมาณของเหลวจะมาก, จึงถือว่า FR = 47.6 % เป็น “Critical FR” สำหรับ HHP นี้ 4) ช่องทางใหญ่ (4 mm) ช่วยกระตุ้นการถ่ายเทความร้อนแบบเปลี่ยนเฟสในช่วงภาระความร้อนต่ำ , ช่องทางเล็ก (2.4 mm) เกิดการไหลแบบสั่นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ,กลไกการถ่ายเทความร้อนใน HHP จึงมีลักษณะทำงานร่วมกัน โดยช่องทางแต่ละขนาดตอบสนองต่อระดับความร้อนที่ต่างกัน, มีการอัดของเหลวจากช่องเล็กไปช่องใหญ่ เพื่อเสริมประสิทธิภาพการถ่ายเท มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ เอทานอล 1) มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Shukla and Kumar [82] การศึกษาผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบสองระดับต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบพัลส์ (Pulsating Heat Pipe PHP) ขอบเขตของการศึกษา 1) การศึกษาเน้นการประเมินผลเชิงเปรียบเทียบสมรรถนะท่อความร้อนแบบพัลส์ (Pulsating Heat Pipe PHP) เส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบเดียว (Uniform Inner Diameter, UPHP) และแบบสองระดับ (Dual Inner Diameter, DPHP) ใช้ของไหล Deionized Water (DI) ภายใต้เงื่อนไขอัตราการเติมของเหลว (Filling Ratio FR) ที่ 60 % และมุมเอียง 90° ท่อทุกชนิดผลิตจากแก้วบอโรซิลิเกตและผ่านการให้ความร้อนที่ช่วงกำลัง 5–60 W (เพิ่มทีละ 5 W) ด้วยลวดนิโครมที่พันรอบบริเวณ Evaporator ที่อุณหภูมิ 110–120 °C เพื่อจำลองภาระความร้อนที่แตกต่างกัน ในการทดลองมีการออกแบบ DPHP 3 แบบ ได้แก่ DPHP1 เส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก 1.8 mm ยาว 88

mm, DPHP2 เส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก 1.8 mm ยาว 118 mm, DPHP3 เส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก 1.8 mm ยาว 150 mm (ขยายเข้าไปในบริเวณทำระเหย 5 mm) , ในขณะที่ UPHP มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.5 mm ตลอดทั้งท่อ โดยท่อทั้งหมดถูกประเมินผลด้วยการคำนวณค่าความต้านทานทางความร้อน (Thermal Resistance) และการวิเคราะห์ลักษณะการไหลด้วยเทคนิค Visualization วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1) เพื่อศึกษาผลกระทบของโครงสร้างภายในท่อ (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในสองระดับ) ต่อกลไกการไหลและสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบพัลส์ 2) เพื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานทางความร้อนและประสิทธิภาพโดยรวมของ UPHP กับ DPHP ทั้งสามแบบ 3) เพื่อระบุรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นในสภาวะภาระความร้อนต่าง ๆ และวิเคราะห์กลไกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น ผลการทดลองพบว่า 1) ท่อแบบ DPHP ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองระดับแสดงสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันชัดเจนเมื่อเทียบกับ UPHP ,DPHP2 ซึ่งมีความยาวของส่วนที่เล็กอยู่ที่ 118 mm ให้ค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำสุด แสดงถึงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด ,DPHP3 ซึ่งขยายเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กเข้าไปในโซนระเหย กลับแสดงสมรรถนะที่แย่ลง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของตำแหน่งและความยาวของส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กต่อการทำงานของระบบ 2) DPHP1 มีเวลาเริ่มต้นทำงาน (Startup Time) ดีกว่า UPHP โดยสามารถลดเวลาเริ่มต้นได้ถึง 54.7 % ,DPHP2 แสดงประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุด โดยมีความสามารถในการรับภาระความร้อนสูงกว่าท่อชนิดอื่น ๆ มากกว่า UPHP และ DPHP1 ถึง 20 % ,มากกว่า DPHP3 ถึง 50 % ,DPHP3 แม้มีพื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากสุด กลับแสดงผลลัพธ์ด้อยกว่า อันเนื่องจากข้อจำกัดด้านไหลและการระเหย 3) พบว่ากลไกการไหลมี 4 รูปแบบหลัก ได้แก่ 1.Slug-plug flow 2.Semi-annular flow 3.Annular flow 4.Thin film evaporation flow 4) เมื่อภาระความร้อนเพิ่มขึ้น กลไกการถ่ายเทความร้อนแบบ thin film evaporation มีบทบาทสำคัญมากขึ้นในการลดความต้านทานทางความร้อน 5) การเปลี่ยนแปลงในรูปแบบการไหลสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างภายในของ DPHP และตำแหน่งการให้ความร้อน มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) 1) มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Zhao et al. [83] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลในระบบท่อความร้อนแยกส่วน (Separated Heat Pipe SHP) สำหรับการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนคุณภาพต่ำ ขอบเขตของการศึกษา 1) ศึกษาการทำงานของระบบท่อความร้อนแยกส่วน (Separated Heat Pipe SHP) ใช้ สารทำงาน R134a และมีโครงสร้างเฉพาะที่ประกอบด้วยท่อทองแดงและสแตนเลสในส่วนต่าง ๆ ของระบบ 2) วิเคราะห์ผลของ อัตราการเติมของเหลว (Filling Ratio FR) ในช่วงระหว่าง 17 %–98 % ต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและเสถียรภาพของระบบ 3) ทดสอบระบบภายใต้ช่วงของ อุณหภูมิท่อระเหย 50–90 °C และ กำลังไฟฟ้า 100–1600 W เพื่อประเมินค่าความต้านทานทางความร้อน (Rt) 4) ตรวจสอบพฤติกรรมการไหลของสารทำงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น Bubbly Flow, Slug Flow, Churn Flow, Annular Flow 5) วิเคราะห์ผลกระทบของ แรงดันภายในระบบ (630–830 kPa) และ อุณหภูมิการระบายความร้อน 14–22 °C ต่อเสถียรภาพของการไหลและสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของ SHP ผลการทดลองพบว่า 1) ช่วงอัตราการเติมของเหลวที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการถ่ายเทความร้อน คือ 17 %–55 % ซึ่งให้ค่าความต้านทานทางความร้อน (Rt) ต่ำที่สุด โดยวัดได้ต่ำสุดถึง 0.01 °C/W 2) ที่กำลังไฟ 100 W การลดอัตราการเติมของเหลวจาก 98 % เหลือ 17 % ทำให้ค่าความต้านทานทางความร้อนลดลง 69.23 % 3) เมื่อ อัตราการเติมของเหลวมากกว่า 55 % ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเนื่องจากเกิดการสะสมของของเหลวมากเกินไป 4) พบ รูปแบบการไหล หลัก 4 แบบ ได้แก่ Bubbly Flow, Slug Flow, Churn Flow, และ Annular Flow 5) ระบบ SHP มี เสถียรภาพในการทำงานสูง ไม่พบการสั่นแบบความถี่สูงหรือการไหลไม่แน่นอน 6) อุณหภูมิในการระบายความร้อนมีผลเพียงเล็กน้อย ต่อค่าความต้านทานทางความร้อน ทำให้สามารถกำหนดอุณหภูมิได้ตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพ มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Shukla and Kumar [84] ได้ทำการศึกษาผลของแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ (NCGs) ต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบพัลส์ชนิดวงเดียวที่ใช้แก้วบอโรซิลิเกต ขอบเขตการศึกษา 1) ศึกษาผลของแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ (Non-Condensable Gases NCGs) ต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบพัลส์ (Pulsating Heat Pipe PHP) ภายใต้

เงื่อนไขดังนี้ ท่อ PHP แบบวงเดียวทำจากแก้วบอโรซิลิเกต เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Di) = 2.5 mm, เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (Do) = 8.9 mm ความยาวส่วนต่าง ๆ ส่วนทำระเหย (Le) = 35 mm, ส่วนกันความร้อน (La) = 145 mm, ส่วนควบแน่น (Lc) = 50 mm ใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Deionised Water) เป็นของเหลวทำงาน อัตราการเติม 50 % วางท่อในแนวตั้งมุมเอียง 90° ให้ความร้อนผ่านขดลวดนิโครมที่พันรอบส่วนทำระเหย ปรับฟลักซ์ความร้อนในช่วง 10–70 W ศึกษาผลของแรงดันเริ่มต้นที่ระดับ 3.172 kPa, 3.741 kPa, 6.263 kPa และ 20.112 kPa วัตถุประสงค์นี้ 1) เพื่อศึกษาผลของแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ (NCGs) ที่ระดับแรงดันเริ่มต้นต่างกัน ต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบพัลส์ (PHP) 2) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานความร้อนเทียบเท่า (Equivalent Thermal Resistance Rt) เมื่อมีหรือไม่มี NCGs 3) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในท่อ PHP เช่น Slug-Plug Flow และ Annular Flow ภายใต้ฟลักซ์ความร้อนที่แตกต่างกัน 4) เพื่อประเมินความสามารถในการรองรับโหลดความร้อนของระบบ PHP ที่ระดับแรงดันเริ่มต้นต่างกัน 5) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันเริ่มต้น ปริมาณ NCGs และอุณหภูมิเฉลี่ยในส่วนทำระเหย ผลการทดลองพบว่า 1) ความต้านทานความร้อน (Rt) ต่ำที่สุดที่แรงดันเริ่มต้น 3.172 kPa เนื่องจากมี NCGs น้อยที่สุด 2) เมื่อเพิ่มฟลักซ์ความร้อน ค่า Rt มีแนวโน้มลดลง และผลกระทบจาก NCGs ลดลงตาม 3) ลักษณะการไหลที่พบ ได้แก่ Slug-Plug Flow และ Annular Flow 4) ที่ฟลักซ์ความร้อนสูง ปริมาณ NCGs ลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการรับโหลดความร้อนเพิ่มขึ้น ~16 % ที่แรงดันเริ่มต้น 6.263 kPa และ 20.112 kPa เมื่อเทียบกับแรงดันเริ่มต้นที่ต่ำกว่า 5) อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณระเหยเพิ่มสูงขึ้นตามระดับแรงดันเริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับการสะสมของ NCGs ในระบบ มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงาน คือ น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Deionised Water) 1) มีบางรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน เช่น มุมเอียง 90° ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) สารทำงานที่ใช้ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) - เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° 5) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Parametthanuwat et al. [85] การศึกษาทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติทางความร้อนของซิลเวอร์นาโนของไหล ขอบเขตการศึกษา 1) สารทำงาน ที่มีความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโนฟลูอิด 0.5 wt% (NP) - ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว NP + OA เท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5 wt% - ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว NP + OAK^+ เท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5 wt% - น้ำปราศจากไอออน DI 2) อุณหภูมิในการทำงาน 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 ºC วัตถุประสงค์นี้ 1) คุณสมบัติของ

ของเหลวที่ใช้ทดสอบเช่นการนำความร้อนความร้อนจำเพาะความหนืดมุมสัมผัสพฤติกรรมการไหล (ความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือน) ผลการทดลองพบว่า 1) ความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโนฟลูอิด 0.5 wt% NP + ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว OAK^+ คือ 1 wt% มีการนำความร้อนที่ดีที่สุดในการทดลองของทุกช่วงอุณหภูมิในการทำงาน 2) โดยการเพิ่มสารลดแรงตึงผิว ความหนืดและความเค้นเฉือนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิ เพิ่มขึ้น ความหนืดและความเค้นเฉือนมีผลต่อการไหลของของเหลวในการทำงาน 3) ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว NP+ OA มีความร้อนจำเพาะสูงกว่าน้ำ 4) ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว NP+ OAK^+ เท่ากับ 1 wt% มุมสัมผัสที่ดีที่สุด คือ 38.23° การสัมผัสกับของเหลวที่ใช้งานได้สารเติมเต็ม Oleic เป็นสารทำให้เปียกที่ดีและปรับปรุงเสถียรภาพของคอลลอยด์ โพแทสเซียมไอออน (K^+) เพิ่มระยะเวลาที่ไม่ตกตะกอน บางอย่างเช่น หัวข้อวิจัยที่ต้องการศึกษา 1) มีตัวแปรที่คล้ายคลึงกัน เช่น สารทำงานที่ใช้งาน คือ - น้ำปราศจากไอออน (DI) - น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) ความแตกต่างกับหัวข้อวิจัยที่เคยศึกษา 1) รูปทรงของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม 2) เอทานอล 3) อัตราส่วนสนทัด 5, 10 และ 20 4) รูปแบบการศึกษา รูปแบบและพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเป็นการศึกษาปัจจัยของตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน เช่น มุมเอียง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน อัตราส่วนสนทัด ความยาวของส่วนทำระเหย ความยาวส่วนกันความร้อนและความยาวส่วนควบแน่นที่แตกต่างกัน ถึงแม้งานวิจัยที่ผ่านมาจะมีการศึกษาของตัวแปรดังที่กล่าวไว้แล้ว แต่ก็ยังมีบางตัวแปรที่ยังไม่คลอบคลุมการศึกษาในส่วนปัจจัยของตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาอัตราส่วนสนทัด มุมเอียง และสารทำงาน ที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่ใช้สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนและกรดโอลีอิก (Oleic acid) ลดแรงตึงผิวผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต และ3.เอทานอล เป็นสารทำงาน รวมถึงการพิจารณาความยาวส่วนทำระเหย ความยาวส่วนกันความร้อน และความยาวส่วนควบแน่น ที่เท่ากันทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานและรูปแบบการไหลที่ต่างออกไปจากตัวแปรที่เคยทำมา รวมถึงเป็นทางเลือกใหม่ ๆ ในการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การทดลองดำเนินไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบถึงตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง วิธีติดตั้งการทดลอง ขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง
3.2 การสร้างเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)
3.3 การเตรียมสารนาโน
3.4 ชุดทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม
3.5 การทดลองรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)
3.6 ขั้นตอนการทดลอง
3.7 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม
3.8 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
3.9 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ตัวแปรต้น

3.1.1.1 สารทำงาน 3 ชนิด

1) น้ำปราศจากไอออน (DI)

2) น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+})

3) เอทานอล

3.1.1.2 อุณหภูมิของน้ำร้อนส่วนทำระเหย 3 ค่า คือ 50 70 และ 90 °C

3.1.1.3 อัตราส่วนสนทัด 3 ค่า คือ 5 10 และ 20

3.1.1.4 มุมเอียง 3 ค่า คือ 70 80 และ 90°

3.1.2 ตัวแปรตาม

3.1.2.1 ความยาวเฉลี่ยของฟองไอภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

3.1.2.2 ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

3.1.2.3 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

3.1.2.4 รูปแบบการไหลของสารทำงานภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

3.1.2.5 ตัวแปรไร้มิติต่อค่าการควบแน่น เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่หลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

3.1.2.6 แผนภูมิรูปแบบการไหลภายในส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

3.1.3 ตัวแปรควบคุม

3.1.3.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ส่วนควบแน่น 20 °C

3.1.3.2 อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ส่วนควบแน่น 0.25 L/min

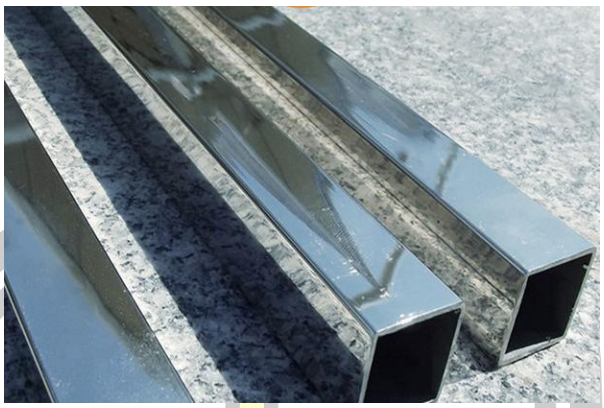
3.1.3.3 อัตราการเติมสารทำงาน 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย

3.1.3.4 เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ส่วนกันความร้อนทำจากสแตนเลส Stainless steel AISI-304 ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย ทำจากแผ่นแก้ว ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm หนา 2 mm

3.1.3.5 ระยะเวลาในการเริ่มเก็บข้อมูล 30 min หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 สร้างท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ทำจากสแตนเลสสตีล Stainless steel AISI-304 นำมาใช้สำหรับการทดลอง มีขนาดของแต่ละด้าน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm หนา 2 mm จำนวน 3 ท่อ มีขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป ลักษณะของท่อดังแสดงภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 ท่อสแตนเลสสตีล Stainless steel AISI-304

3.2.2 ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกนำมาใช้ในการเติมสารทำงาน มีขนาดแตกต่างกัน 3.52 และ 6.35 mm เพื่อใช้เชื่อมปิดปลายท่อ และติดตั้งเกจวัดความดันเพื่อดูว่าเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เป็นสุญญากาศและสร้างชุดเติมสารด้านบนของส่วนควบแน่นที่ใช้สำหรับการทดลอง มีขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป ดังภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.2 ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ และเกจวัดความดัน

3.2.3 แผ่นกันความร้อนใช้หุ้มฉนวนในส่วนกันความร้อนกรณีที่ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยจะไม่หุ้มฉนวนเพื่อให้มองเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงานภายในทั้งสองส่วนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ RTPCT ดังแสดงภาพประกอบ 3.3



ภาพประกอบ 3.3 แผ่นกันความร้อน

3.2.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ HIOKI รุ่น 8422-51 MEMORY HILOGGER ความแม่นยำ ± 0.1% แสดงผลออกมาเป็นตัวเลขซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.11 °C 12 ตำแหน่งพร้อม ๆ กันและสามารถบันทึกข้อมูลได้ 225 ข้อมูลต่อตำแหน่งและจะเก็บบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 5 min อุณหภูมิที่อ่านได้ นำมาหาค่าเฉลี่ยข้อมูลที่เข้าสู่สภาวะคงที่ ดังภาพประกอบ 3.4 และ 3.5



ภาพประกอบ 3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ (HIOKI) รุ่น 8422-51MEMORY HILOGGER

การต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิโดยเครื่องมือวัดอุณหภูมิยี่ห้อ HIOKI รุ่น 8422-51 MEMORY HILOGGER จะมีช่องรับสัญญาณ 32 ช่องโดยแต่ละช่องจะมีขั้ว บวก และขั้วลบให้ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลสายเขียวเข้าขั้วบวกส่วนสายขาวเข้าขั้วลบ แสดงในภาพประกอบ 3.5



ภาพประกอบ 3.5 ช่องรับสัญญาณเครื่องวัดอุณหภูมิ

3.2.5 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type-K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลสำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ทางออกและทางเข้าในส่วนควบแน่น อุณหภูมิผิวท่อที่ส่วนกันความร้อน และอุณหภูมิน้ำร้อนในส่วนทำระเหย โดยติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล แสดงในภาพประกอบ 3.6



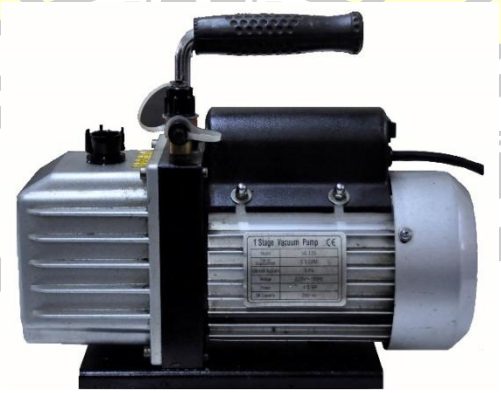
ภาพประกอบ 3.6 เทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อ OMEGA Type-K

3.2.6 ชุดการเติมสารทำงาน เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานเข้าสู่เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ RTPCT ประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) เกจวัดความดัน (Pressure gauge) และ Glass tube สำหรับวัดปริมาณการเติมสารทำงานได้จากการคำนวณ แสดงในภาพประกอบ 3.7



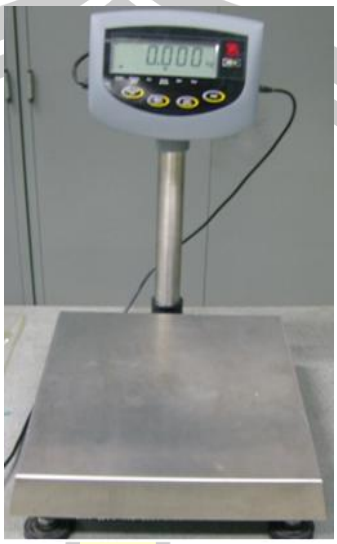
ภาพประกอบ 3.7 ชุดการเติมสารทำงาน

3.2.7 เครื่องทำสุญญากาศ ยี่ห้อ 1 Stage vacuum pump (VE135) ปริมาตรอัด 3.5 CFM ทำสุญญากาศได้ 5 Pa โดยเครื่องทำสุญญากาศใช้สำหรับทำสุญญากาศภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ RTPCT ก่อนทำการเติมสารทำงาน ดังภาพประกอบ 3.8



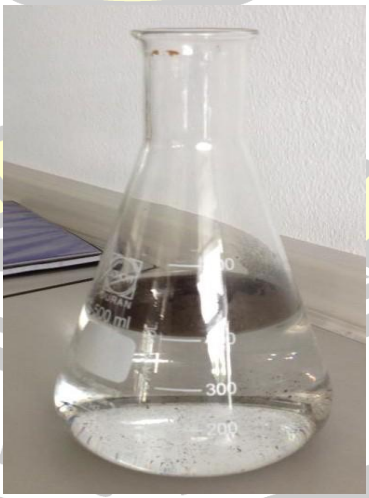
ภาพประกอบ 3.8 เครื่องทำสุญญากาศ

3.2.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ OHAUS มีช่วงน้ำหนักที่ชั่งได้ 0.005 k ถึง 29.995 kg ใช้ชั่งผงเงินระดับอนุภาคนาโน ดังแสดงในภาพประกอบ 3.9



ภาพประกอบ 3.9 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด OHAUS

3.2.9 กระบอกตวง ใช้ในการตวงสารทำงาน Silver nano-fluid concentration of 0.5 wt% ดังแสดงภาพประกอบ 3.10



ภาพประกอบ 3.10 กระบอกตวงสารทำงาน

3.2.10 ปั๊มลมยี่ห้อ PUMA สูบเดียว 220 V 2.6 AMP ใช้สำหรับสร้างลมเพื่อทดสอบการรั่วของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ โดยผ่านลมเข้าวาล์วลูกศรเติมลมของเทอร์โมไซฟอน RTPCT ดังแสดงในภาพประกอบ 3.11



ภาพประกอบ 3.11 ปั๊มลมเพื่อทดสอบการรั่ว

3.2.11 ชุดเชื่อม ใช้สำหรับเชื่อมเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ RTPCT และใช้ลวดเงินเชื่อมท่อทองแดง ทำการบีบปลายท่อพร้อมตัดและเชื่อมปิดปลายเทอร์โมไซฟอนเมื่อทำการเติมสารทำงานเสร็จ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.12



ภาพประกอบ 3.12 ชุดเชื่อมเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

3.2.12 กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว ยี่ห้อ Fuji film รุ่น Fuji HS10 เลนส์โฟกัส 30 เท่า ความละเอียด 10.3 ล้านพิกเซล ถ่ายวีดีโอระดับ Full HD movies (1,920x1,080) ใช้บันทึกรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ RTPCT จำนวน 2 กล้อง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.13



ภาพประกอบ 3.13 กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวยี่ห้อ Fuji file รุ่น Fuji HS10

3.2.13 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด และควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย โดยการหมุนวาล์วควบคุมน้ำ และดูค่าที่ต้องการจากสเกลที่แสดงอยู่ที่หน้าปัด ของมาตรวัด ดังภาพประกอบ 3.14



ภาพประกอบ 3.14 เครื่องมือวัดอัตราการไหล

3.2.14 เครื่องทำน้ำเย็นยี่ห้อ EYELA รุ่น CA-1112CE คุณสมบัติของเครื่อง ช่วงอุณหภูมิที่เครื่องทำได้ –20 °C ถึง 30 °C ค่าความถูกต้อง $\pm$ 2 °C ทำความเย็นได้ 1030 kcal/h กำลังของเครื่อง 1200 W อัตราการไหลเวียนสูงสุด 16/18 L/S ใช้ระบายความร้อนในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ RTPCT แสดงในภาพประกอบ 3.15



ภาพประกอบ 3.15 เครื่องทำน้ำเย็น (Cooling bath)

3.2.15 เครื่องทำน้ำร้อน (Thermo fisher scientific) รุ่น EX-35 ใช้ควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนสำหรับส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) โดยในการทดลองจะปรับอุณหภูมิ 3 ค่า คือ 50, 70 และ 90 °C มีค่าความผิดพลาด $\pm$ 2.5 °C ดังภาพประกอบ 3.16



ภาพประกอบ 3.16 เครื่องทำความร้อน (Hot bath)

3.2.16 ท่อสายยาง มีคุณสมบัติทนความร้อนใช้ต่อเข้ากับเครื่องทำความร้อนและเครื่องทำความเย็นต่อเข้าชุดทดลองอย่างละคู่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 mm ดังภาพประกอบ 3.17



ภาพประกอบ 3.17 ท่อน้ำสายยาง (Hose)

3.2.17 แท่นติดตั้งชุดทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้สามารถทดสอบที่มุมเอียงการทำงานของท่อ เริ่มตั้งแต่มุมเอียง 60, 70, 80 และ 90° โดยวัดจากแนวระดับกับส่วนกันความร้อนของเทอร์โมไซฟอน ดังแสดงในภาพประกอบ 3.18

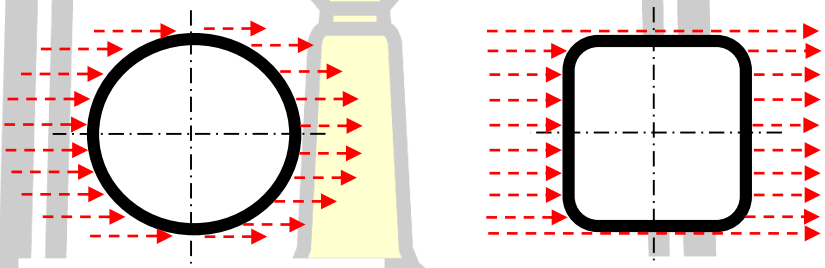


ภาพประกอบ 3.18 แท่นติดตั้งและทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

3.3 การสร้างเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

ขั้นตอนการสร้างท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม มีวิธีการดังต่อไปนี้

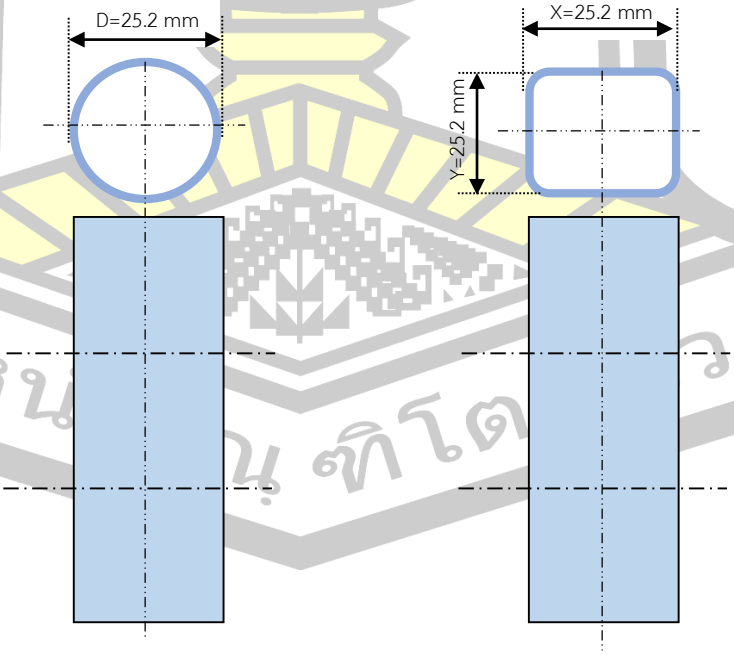
3.3.1 ทำการเลือกขนาดท่อ,เขียนแบบ และกำหนดขนาดความแบนของหน้าตัดท่อเพื่อใช้ในการศึกษา โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกท่อสแตนเลสสตีล (AISI-304) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน D =25.2 mm เดิมเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดกลม (TPCT) เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (DGCST) เป็นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) รูปร่างของการเปลี่ยนแปลง TPCT เป็น RTPCT สามารถกำหนดได้โดยเส้นสัมผัสเปียก [14] โดย (RTPCT) มีขนาดของแต่ละด้าน X และ Y = 25.2 mm ทั้งสองรูปแบบ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.19 และ 3.20



เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดกลม (TPCT)

เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

ภาพประกอบ 3.19 พื้นที่ผิวด้านนอกของการไหล/เส้นสัมผัสเปียก



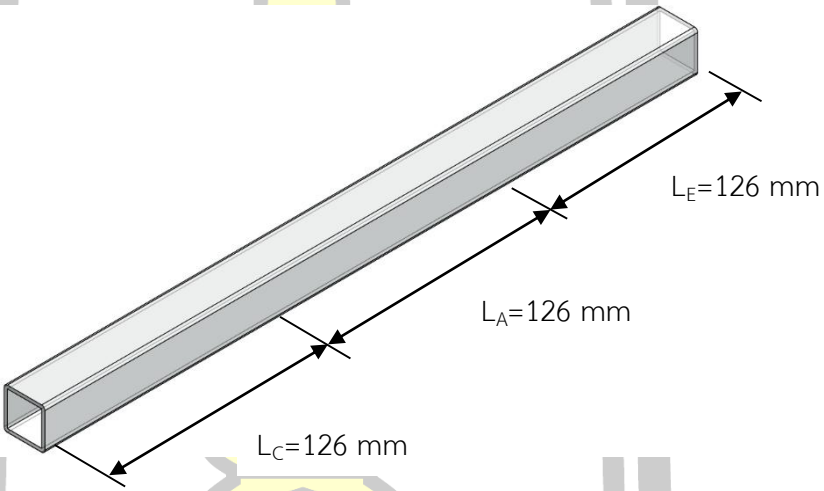
ภาพประกอบ 3.20 ลักษณะของเทอร์โมไซฟอน

เส้นสัมผัสเปียกหาได้จากสมการ 3.1 [36]

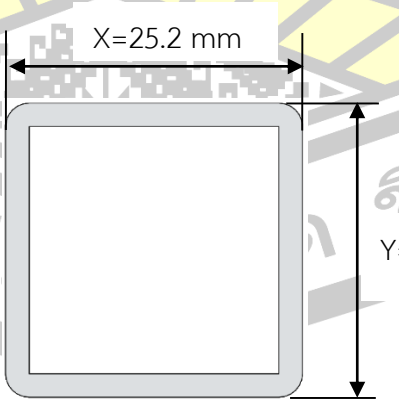
$$W_p = \pi Y + 2X \quad (3.1)$$

เมื่อ W_P คือ เส้นสัมผัสเปียก (m)

3.3.2 เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (L_E) ส่วนกันความร้อน (L_A) และส่วนควบแน่น (L_C) แต่ละส่วนมีความยาวเท่าๆกัน ที่ส่วนกันความร้อน ทำจาก Stainless steel AISI-304 ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย ทำจากแผ่นแก้ว Pyrex tube ขนาดของแต่ละด้าน ความกว้าง X=25.2 mm ความยาว Y=25.2 mm ดังในภาพประกอบ 3.21 และ 3.22

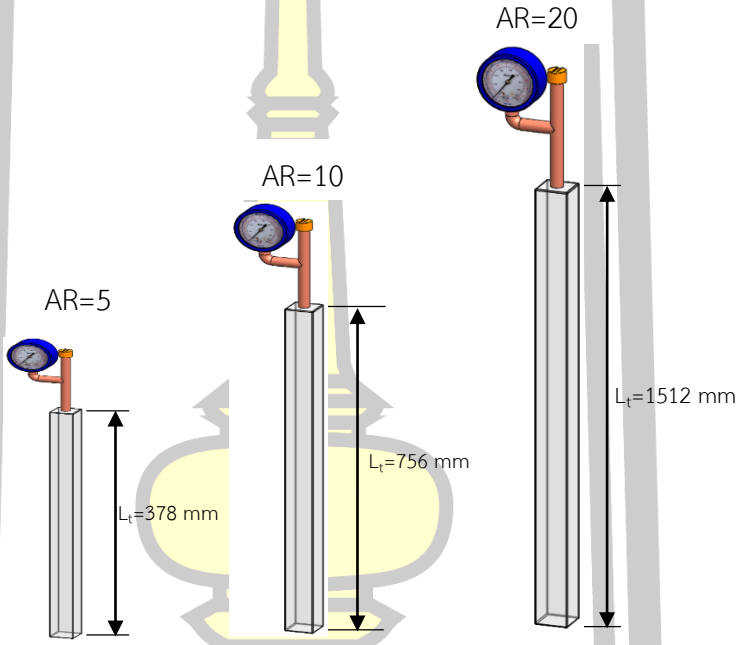


ภาพประกอบ 3.21 ท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)



ภาพประกอบ 3.22 ด้านหน้าของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

3.3.3 เทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดลอง เป็นท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มีขนาดความยาวของส่วนทำระเหย (L_E) แตกต่างกัน คือ (L_E) =126 (L_E) = 252 และ (L_E)= 504 mm ท่อแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1.ส่วนทำระเหย (Evaporator section) 2. ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) 3.ส่วนควบแน่น (Condenser section) ในแต่ละส่วนจะมีความยาวเท่าๆกัน ความยาวรวมทั้งหมด L_T= 378 mm L_T= 756 mm และ L_T= 1512 mm จำนวนเทอร์โมไซฟอน RTPCT ที่สร้างขึ้นสำหรับการทดลอง 3 ท่อ ซึ่งในงานวิจัยนี้เน้นศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม ดังแสดงในภาพประกอบ 3.23

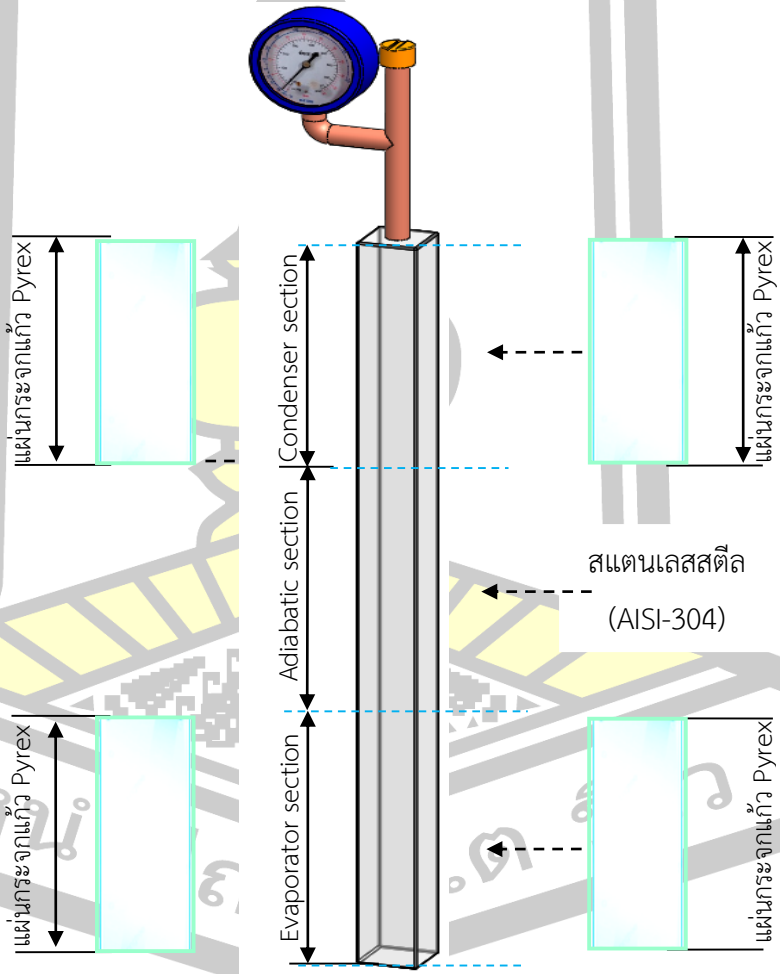


ภาพประกอบ 3.23 จำนวนเทอร์โมไซฟอน RTPCT ที่สร้างขึ้นสำหรับการทดลอง 3 ท่อ

ตาราง 3.1 แสดงรายละเอียดของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมที่ใช้ในการทดลอง

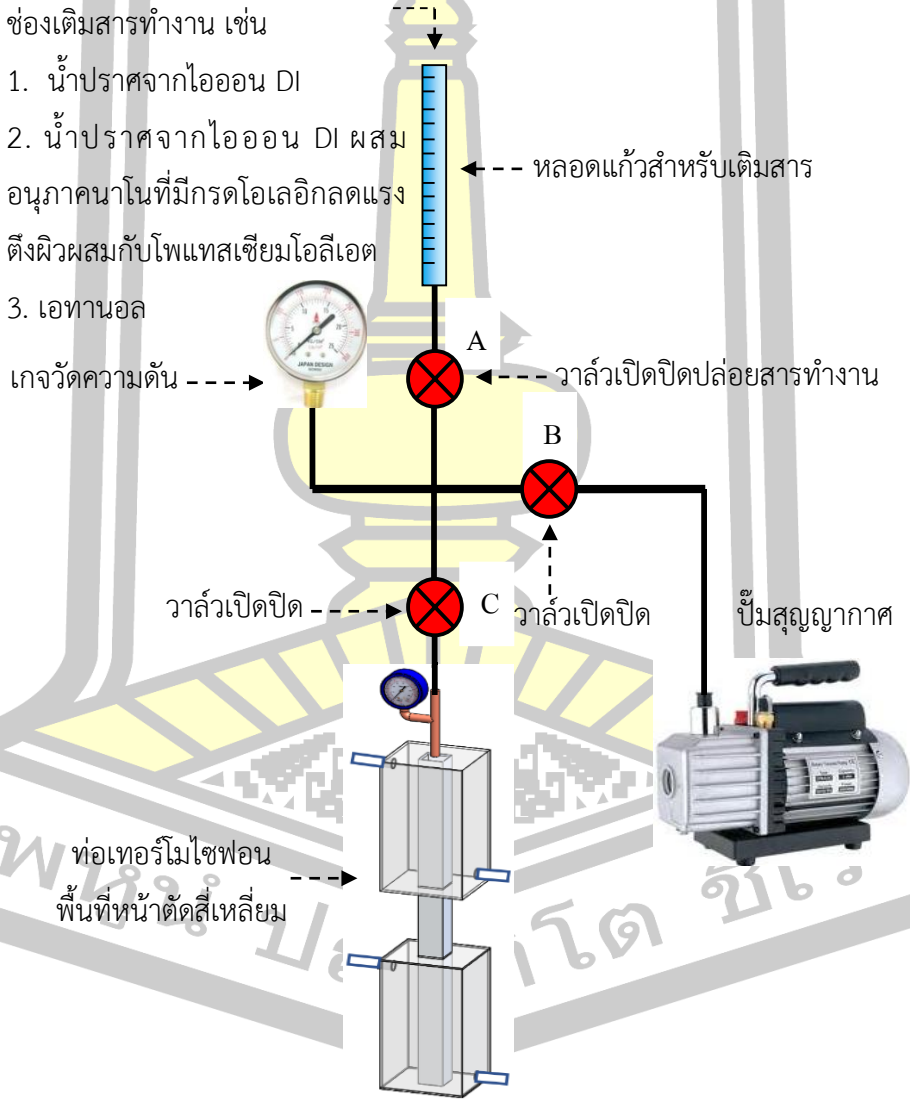
เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม	ขนาดของแต่ละด้าน X และ Y เท่ากับ mm	ความยาวท่อสี่เหลี่ยม RTPCT (mm)			
		อัตราส่วนสนทัด AR	ส่วนทำระเหย L_E	ส่วนกันความร้อน L_A	ส่วนควบแน่น L_C
1	25.2	5	126	126	126
2	25.2	10	252	252	252
3	25.2	20	504	504	504

3.3.4 การประกอบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เพื่อให้มองเห็นรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย ขนาด X และ Y เท่ากับ 25.2 mm หนา 2 mm ส่วนกันความร้อน ทำจาก Stainless steel 304 เฉพาะในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยจะติดตั้งแผ่นกระจกใส Pyrex tube ลักษณะเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมทำการเชื่อมอาร์กอนด้านล่างในส่วนทำระเหยด้วยแผ่นสแตนเลสสี่เหลี่ยมเพื่อปิดด้านล่างท่อ จากนั้นตัดสแตนเลสด้านตรงข้ามกันเพียงสองด้านออกที่ส่วนควบแน่นและที่ส่วนทำระเหย ทำการใส่แผ่นแก้วกันความร้อนเข้าไปและใช้กาวซิลิโคนติดแผ่นแก้วกับสแตนเลสรอให้แห้งสนิทจากนั้นตัดแผ่นทองแดงขนาดสี่เหลี่ยม X และ Y เท่ากับ 58 mm ทำการเจาะรูไว้เพื่อติดตั้งเกจวัดความดันสุญญากาศและวาล์วลูกศรสำหรับเติมสารทำงานเข้าภายในท่อและทำการเชื่อมปิดปลายด้านบนเพื่อให้ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมเป็นสุญญากาศและสารทำงานสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ดังภาพประกอบ 3.24



ภาพประกอบ 3.24 การประกอบเทอร์โมไซฟอนเมื่อทำตามขั้นตอนจะได้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

3.3.5 การเติมสารทำงานภายในเริ่มจาก ปิดวาล์ว ทุกวาล์ว ทำการต่อปั๊มสุญญากาศเข้ากับวาล์ว B และเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมเข้ากับวาล์ว C จากนั้นทำการเปิดวาล์ว B และ C แล้วเปิดสวิทช์ปั๊มสุญญากาศ สังเกตความดันที่ลดลงจากเกจวัดความดัน ทิ้งไว้สักครู่จนกระทั่งความดันภายในมีค่าคงที่ หลังจากนั้นทำการปิดวาล์ว B และหยุดปั๊มสุญญากาศ แล้วสังเกตที่เกจวัดความดัน หากความดันเปลี่ยนแปลง หมายถึง เกิดการรั่ว สำหรับการเติมสารทำงานลงไปใน RTPCT นั้นทำได้โดยการปิดวาล์ว A และ B เปิดวาล์ว C เติมสารทำงานลงไปในหลอดแก้วเหนือวาล์ว A จากนั้นเปิดวาล์ว A ให้สารทำงานไหลเข้าไปใน RTPCT ซึ่งคำนวณจากอัตราการเติมสารทำงาน 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย ปิดวาล์วก่อนที่สารทำงานจะหมดหลอด เพราะอาจมีอากาศไหลเข้าไปในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม RTPCT ทำให้ไม่เป็นสุญญากาศ ดังภาพประกอบ 3.25 [86]



ภาพประกอบ 3.25 แผนผังการเติมสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะโดยใช้ปั๊มสุญญากาศสำหรับเติมสารทำงาน [86]

3.4 การเตรียมสารนาโนฟูลอิด

สารทำงาน Silver nano-fluid concentration of 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม (NF) ผสม concentration of oleic acid was 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้ [32]

3.4.1 เตรียม Silver nano-fluid concentration of 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม ความหมาย คือ DI water 99.5 กรัม ผสมผงเงิน Silver 0.5 กรัม

3.4.2 นำสารที่เตรียมไว้ในข้อ 3.4.1 ใส่ในบีกเกอร์แล้วนำไปสั่นในเครื่อง Sonicat เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความถี่ 53 กิโลเฮิร์ต

3.4.3 ก็จะได้สารทำงาน NF=Silver nano-fluid concentration of 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม

3.4.4 นำสารทำงาน NF ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.4.3 มากวนด้วยเครื่อง Stirrer ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

3.4.5 นำสารทำงาน NF จากข้อ 3.4.4 ผสม Concentration of oleic acid was 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม ความหมาย คือ NF 99 กรัม ผสม Oleic acid 1 กรัม

3.4.6 Silver nano-fluid concentration of 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม (NF) ผสม Concentration of oleic acid was 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.4.5 ใส่ในบีกเกอร์สั่นในเครื่อง sonicat ที่ความถี่ 53 กิโลเฮิร์ต อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 30 นาที และที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

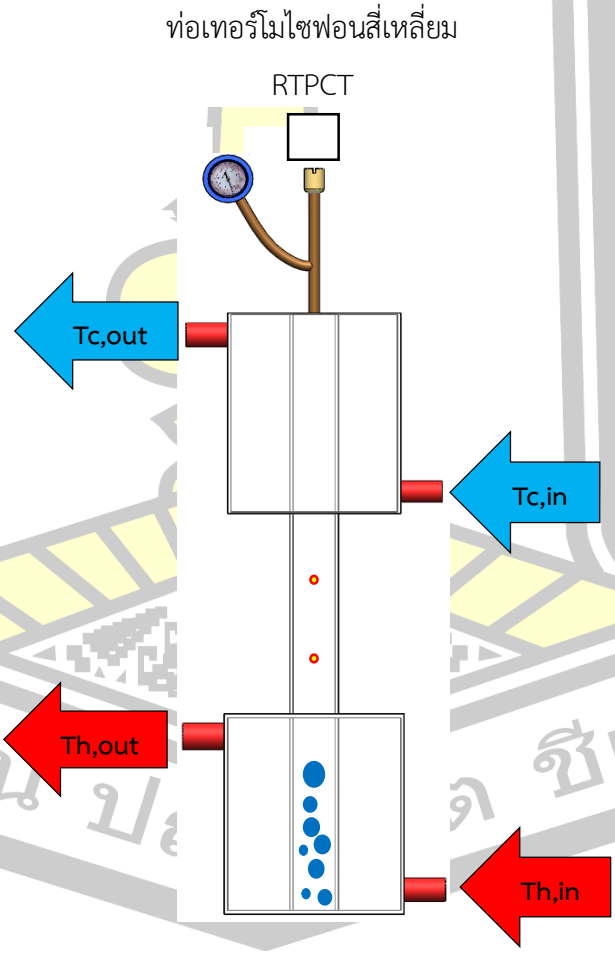
3.4.7 เสร็จแล้วนำ Silver nano-fluid concentration of 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม (NF) ผสม Concentration of oleic acid was 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม ที่ได้ไปกวนในเครื่อง Stirrer เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

3.4.8 จะได้สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออนที่เติมผงเงินระดับอนุภาคนาโน 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวม และกรดโอเลอิก 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวมผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต (สารลดแรงตึงผิว) ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

หมายเหตุ NP คือ น้ำปราศจากไอออนที่เติมผงเงินระดับอนุภาคนาโน 0.5 wt%
OA คือ กรดโอเลอิก
OAK^+ คือ โพแทสเซียมโอลีเอต

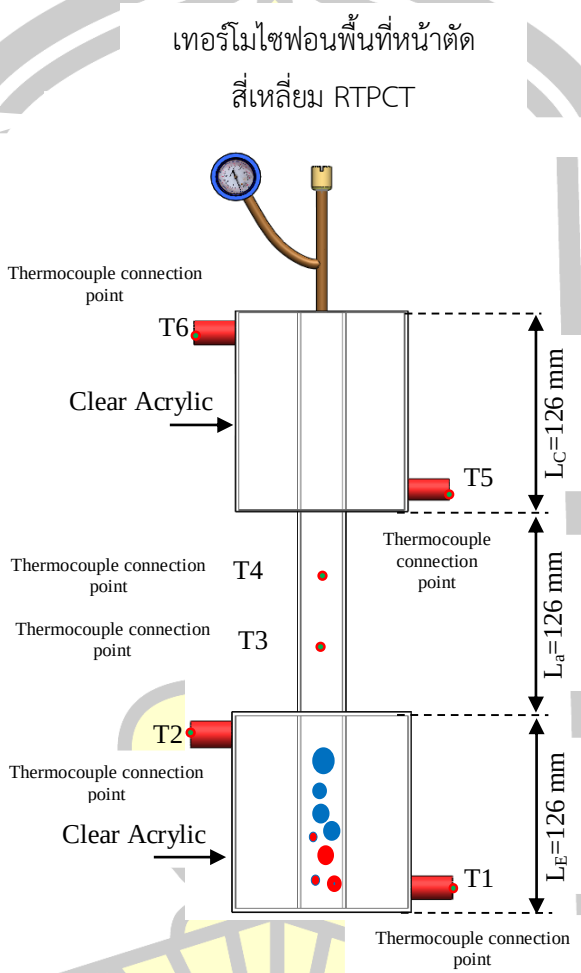
3.5 ชุดทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ

3.5.1 การทดลองหาสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมว่ามีการเพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองในการทดลองได้ติดตั้งเกจวัดความดันเพื่อดูว่าเทอร์โมไซฟอน RTPCT มีการรั่วหรือไม่ทุกเงื่อนไขการทดลอง ลักษณะทางเดินน้ำเย็นเข้าออกของส่วนควบแน่นและลักษณะทางเดินน้ำร้อนเข้าออกส่วนทำระเหย โดยส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม RTPCT ทำจากท่อแก้ว Pyrex tube มีคุณสมบัติทนความร้อนโดยจะติดแผ่นกระจกใสเฉพาะที่ส่วนควบแน่นเพื่อให้มองเห็นรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเฉพาะที่ส่วนกันความร้อนจะเป็น สแตนเลสสตีล (AISI-304) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ความยาวของส่วนทำระเหยส่วนกันความร้อนและความยาวของส่วนควบแน่นมีความยาวเท่ากัน ดังแสดงในภาพประกอบ 3.26



ภาพประกอบ 3.26 ตำแหน่งน้ำเข้าเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

3.5.2 ในการทดลองหาสมรรถนะทางความร้อนนี้ เพื่อต้องการทราบประสิทธิภาพของเทอร์โมไซฟอนหน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ว่ามีการเพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด ซึ่งจะมีแบบจำลองอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.27



ภาพประกอบ 3.27 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

เมื่อ $T_{1\,h\,in}$ คือ อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) (°C)

$T_{2\,h\,out}$ คือ อุณหภูมิน้ำก่อนออกส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) (°C)

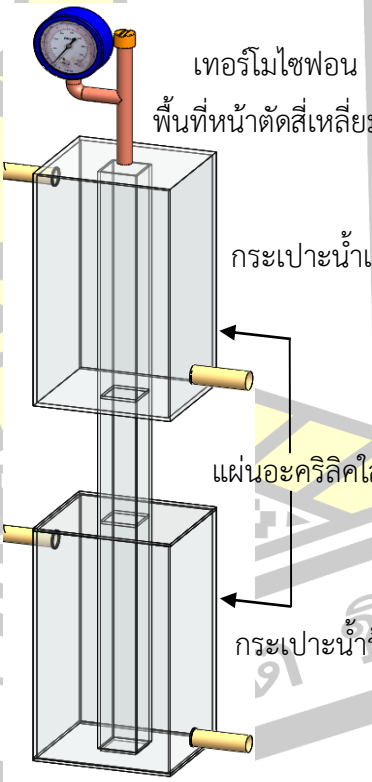
T_3 คือ อุณหภูมิผิวท่อส่วนกันความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) (°C)

T_4 คือ อุณหภูมิผิวท่อส่วนกันความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) (^oC)

$T_{5\ c\ in}$ คือ อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) (^oC)

$T_{6\ c\ out}$ คือ อุณหภูมิน้ำก่อนออกส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) (^oC)

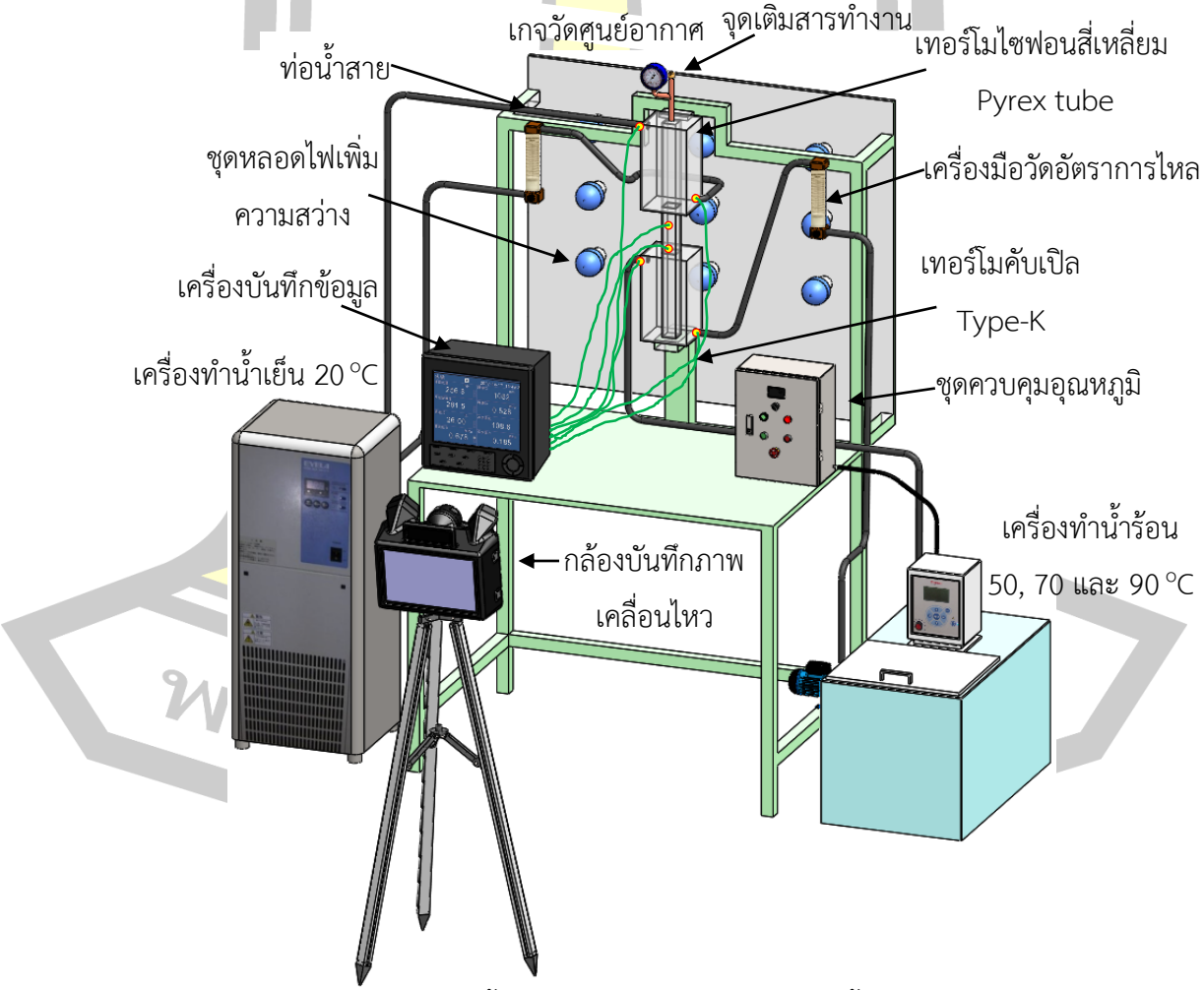
3.5.3 ประกอบกระเปาะชุดให้ความร้อนในส่วนทำระเหยและชุดระบายความร้อนในส่วนควบแน่น ทำจากแผ่นอะคริลิคใส เพื่อบันทึกพฤติกรรมการไหลของของเหลวภายในท่อส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ RTPCT แหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อนจะใช้น้ำหมุนเวียนจากเครื่องทำน้ำร้อนที่ส่วนทำเหยและเครื่องทำน้ำเย็นที่ส่วนควบแน่น ดังแสดงในภาพประกอบ 3.28



ภาพประกอบ 3.28 ประกอบกระเปาะชุดให้ความร้อนในส่วนทำระเหยและชุดระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นทำจากแผ่นอะคริลิคใส

3.6 การทดลองรูปแบบการไหลภายในที่ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

การทดลองเพื่อศึกษาถึงรูปแบบการไหลภายในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม ทิศทางการไหลของ ๆ ไหลทั้งสองสถานะ มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม หรือไม่อย่างไร่ จึงได้ทำการออกแบบให้มีส่วนประกอบของท่อแก้วที่ L_C , L_E เพื่อให้มองเห็นสารทำงานภายในและการเดือดซึ่งเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ มีขนาดของแต่ละด้าน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm หนา 2 mm โดยขนาดของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม ความยาวรวม (L_T) จะแตกต่างกัน 3 ขนาด L_T = 378 mm L_T = 756 mm L_T =1512 mm ทั้งหมดจำนวน 3 ท่อ บันทึกภาพ และ หาความเร็วของการเคลื่อนที่ของ ๆไหลภายในทั้งสองส่วน L_C, L_E โดยจับเวลา (RTPCT) ดังแสดงการติดตั้งในภาพประกอบ 3.29



ภาพประกอบ 3.29 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)

3.7 ขั้นตอนการทดลอง

3.7.1 สร้างเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ขึ้นแล้วทำสุญญากาศและเติมสารทำงานเข้าไปในท่อตามอัตราส่วนที่ได้จากการคำนวณต่อชุดทดลอง แต่ละเงื่อนไข

3.7.2 ประกอบกระเปาะกล่องน้ำร้อนและกล่องน้ำเย็นเข้าท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) แล้วนำไปติดตั้งเข้าแท่นที่เตรียมไว้

3.7.3 ติดตั้งเครื่องมือวัด ชุดหลอดไฟ และกล้องถ่ายวิดีโอ เข้ากับชุดการทดลอง

3.7.4 ต่อท่อน้ำร้อนขาเข้าและขาออกที่ส่วนทำระเหย-ต่อน้ำเย็นขาเข้าและขาออกที่ส่วนควบแน่น จากเครื่อง Hot bath และ Cooling bath เข้ากับชุดทดลองตามจุดที่กำหนดไว้

3.7.5 เปิดสวิตช์ชุดหลอดไฟ Back Light เพื่อให้สามารถมองเห็นรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นได้อย่างชัดเจน

3.7.6 ทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ความยาวรวมท่อ (L_T) = 378 ,756 และ 1512 mm จำนวน 3 ท่อ โดยทดลองการทำงานของท่อที่มุมเอียง 70, 80 และ 90° โดยวัดจากแนวระดับกับส่วนกันความร้อนตามลำดับ

3.7.7 ปรับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยให้ได้ 50, 70 และ 90 °C ตามลำดับและปรับอุณหภูมิน้ำเย็นที่ส่วนควบแน่นคงที่ 20 °C

3.7.8 เปิดปั๊มน้ำจากเครื่องทำความร้อนและเครื่องทำความเย็นปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นโดยการตวงเท่ากันที่ 0.004167 kg/s

3.7.9 ต่อสายวัดอุณหภูมิ (สายเทอร์โมคัปเปิล) จากชุดทดลองเข้าเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) สังเกตกราฟที่เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) เมื่อระบบมีสภาวะคงที่แล้วจึงเริ่มจับเวลาเพื่อเก็บข้อมูล

3.7.10 จับเวลาในการทดลอง 20 min

3.7.11 เมื่อครบ 20 min การทดลองอยู่ในสภาวะคงที่จึงเริ่มทำการบันทึกวิดีโอเพื่อนำไปวิเคราะห์รูปแบบการไหล

3.7.12 บันทึกค่าอุณหภูมิน้ำขาเข้า และน้ำขาออกของส่วนควบแน่น ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลและเตรียมทดลองในเงื่อนไขต่อไป

3.7.13 ทำการทดลองจากข้อ 1-13 ทำการทดลองตามขั้นตอนโดยเปลี่ยนอัตราส่วนสนทัดมุมเอียง และอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย จนครบทุกตัวแปรตามที่กำหนดขอบเขตไว้ การ

ติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.28 และ 3.29 รวบรวมข้อมูลที่ได้ไปสรุปผลโดยกราฟ

3.8 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

หลังจากศึกษารูปแบบการไหลภายในและพฤติกรรมของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ จำนวน 3 ท่อ แล้วจะทำให้เราทราบถึงทิศทางการไหลของของไหลทั้ง 3 ชนิด ว่าแยกส่วนกันหรือไม่ หรือมีการไหลสวนทางกันหรือไม่ เป็นไปตามวัตถุประสงค์การออกแบบท่อหรือไม่ ขั้นตอนต่อไป คือ การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการเติมสารทำงาน 50 % โดยปริมาณของส่วนทำระเหย สารทำงาน 3 ชนิด ได้แก่ 1) น้ำปราศจากไอออน DI 2) น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3) เอทานอล มุมเอียง (β) เท่ากับ 70°, 80° และ 90°

โดยอุณหภูมิของน้ำขาออกและอุณหภูมิของน้ำขาเข้าที่กระเปาะน้ำเย็น เพื่อให้น้ำเย็นสามารถไหลผ่านเข้า–ออก ถ่ายเทความร้อนในส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น [87] อัตราการถ่ายเทความร้อนหาได้ [32] จากสมการ 3.2 และ 3.3 (RTPCT) [86]

$$Q_{cool} = \dot{m}_{cool} C_p (T_{C,out} - T_{C,in}) \tag{3.2}$$

ดังนั้น

$$Q = f(\dot{m}, T_{C,out}, T_{C,in}) \tag{3.3}$$

เมื่อ Q_{cool} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนจากส่วนควบแน่น (W)

$\dot{m}$ คือ ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำอุณหภูมิต่ำทางด้านส่วนควบแน่น (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารรับความร้อน (น้ำ) (J/kg.°C)

$T_{c,out}$ คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำขาออกที่ส่วนควบแน่น (°C)

$T_{c,in}$ คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำขาเข้าที่ส่วนควบแน่น (°C)

วิเคราะห์ข้อมูลความร้อนที่ถ่ายเทให้ส่วนทำระเหย คำนวณจากวิธี Calorimeter ซึ่งหา [86] ได้จากสมการ 3.4

$$Q_{hot} = \dot{m}_{hot} C_p (T_{e,in} - T_{e,out}) \quad (3.4)$$

เมื่อ Q_{hot} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ให้ส่วนทำระเหย (W)

$\dot{m}$ คือ ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำอุณหภูมิสูงทางด้านส่วนทำระเหย(kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารรับความร้อน (น้ำ) (J/kg.$^{\circ}$C)

$T_{e,in}$ คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำขาเข้าที่ส่วนทำระเหย ($^{\circ}$C)

$T_{e,out}$ คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำขาออกที่ส่วนทำระเหย ($^{\circ}$C)

อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม [38] หาได้จากสมการ 3.5

$$\dot{q}_{cool} = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{(2x+2y)L_{condenser}} \quad (3.5)$$

เมื่อ q คือ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (RTPCT) (W)

X คือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) (m)

Y คือ ความยาวของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) (m)

A_c คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดในส่วนควบแน่น (m^2)

L_c คือ ความยาวในส่วนควบแน่น (m)

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ผลการทดลองจะทำการวิเคราะห์ค่าความผิดผลาด (Error analysis) Q_{error} ก่อนทำการพล็อตกราฟ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำมากที่สุด และค่าความผิดพลาดของการถ่ายเทความร้อน [38] (RTPCT) หาได้จากสมการ 3.6

$$Q_{error} = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} \times \dot{m}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{c,out}} \times T_{c,out}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{c,in}} \times T_{c,in}\right)^2 \right]^{0.5} \quad (3.6)$$

เมื่อ $Qerror$ คือ ค่าความไวรวมของ Q ต่อตัวแปรป้อนเข้า (1/W)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของมวลของของเหลวเย็น (kg/s)

Tc,out คือ อุณหภูมิของของเหลวเย็นที่ออกจากระบบ (°C หรือ K)

Tc,in คือ อุณหภูมิของของเหลวเย็นที่เข้าสู่ระบบ (°C หรือ K)

$\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}}$ คือ อนุพันธ์ของ Q ตาม $\dot{m}$ (W·s/kg)

$\frac{\partial Q}{\partial Tc,out}$ คือ อนุพันธ์ของ Q ตาม Tc,out (W/K)

$\frac{\partial Q}{\partial Tc,in}$ คือ อนุพันธ์ของ Q ตาม Tc,in (W/K)

สมการหาค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อน (R)

ความต้านทานความร้อน (R) คือค่าที่ใช้เปรียบเทียบความต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน หากค่า R มีค่ามาก หมายถึงระบบถ่ายเทความร้อนได้ยาก แต่ถ้าค่านี้ลดลง แสดงว่าความร้อนสามารถไหลผ่านจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้ดีขึ้น หาได้จากสมการ 3.7 [88]

$$R = \frac{T_{evap} - T_{con}}{\dot{Q}e} = \frac{\left(\frac{T_{w,e1} + T_{w,e2}}{2}\right) - \left(\frac{T_{w,c5} + T_{w,c6}}{2}\right)}{\dot{Q}e} \quad (3.7)$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อน (°C/W)

T_{evap} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหย (°C)

T_{con} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนควบแน่น (°C)

$\dot{Q}e$ คือ ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากส่วนทำระเหย (W)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) คำนวณได้ จากสมการ 3.8 [88]

$$\eta_{Ther} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_e} x100\% \qquad (3.8)$$

เมื่อ $\dot{Q}_C$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนถ่ายโอนจากส่วนควบแน่นไปยังน้ำเย็น (W)

$\dot{Q}_e$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนซึ่งส่วนทำระเหยดูดซับจากน้ำร้อน (W)

3.9 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.9.1 ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในส่วนควบแน่นส่วนทำระเหยและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะนำเทคนิคและทฤษฎีต่าง ๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย

3.9.2 นำผลการทดลองที่ได้จากการสังเกตภาพวีดีทัศน์และภาพถ่ายไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีรูปแบบการไหลสองสถานะที่เกิดขึ้นภายในท่อในแนวดิ่ง เพื่อสรุปถึงรูปแบบการไหลภายในที่เกิดขึ้นของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ [38]

3.9.3 ความยาวเฉลี่ยของฟองไอ (L_v) จะทำการวิเคราะห์ความยาวเฉลี่ยของฟองไอจากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิตอล โดยจะวัดขนาดความยาวของฟองไอในแนวแกนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยความยาวของฟองไอ

3.9.4 ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ (u_g) จะทำการวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอจากภาพการเคลื่อนไหวที่ได้จากกล้องวีดีทัศน์ โดยใช้เครื่องเล่นเทปวีดีทัศน์ วิเคราะห์รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นที่เกิดขึ้น โดยที่เครื่องเล่นเทปวีดีทัศน์สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของภาพให้มีความเร็วหรือช้าได้ตามต้องการ จึงทำให้สามารถคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของฟองไอได้ โดยรูปแบบการไหลภายใน จะเริ่มทำการวัดตั้งแต่เริ่มเกิดฟองไอภายในส่วนควบแน่นจนกระทั่งฟองไอหายไป

3.9.5 นำข้อมูลจากผลการทดลองไปใช้สำหรับสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหล (Flow patterns map) เพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยทำการจัดกลุ่มรูปแบบการไหลที่สัมพันธ์กับโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอและโมเมนตัมฟลักซ์ใน

สถานะของเหลว ซึ่งจะหาได้จากสมการค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว (Liquid momentum flux) หาได้จากสมการ 3.9 [21]

$$\rho_l u_l^2 = \frac{[G(1-x)]^2}{\rho_l} \tag{3.9}$$

ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของไอ (Gas momentum flux) [38] หาได้จากสมการที่ 3.10

$$\rho_g u_g^2 = \frac{[Gx]^2}{\rho_g} \tag{3.10}$$

เมื่อ G คือ ค่าฟลักซ์มวล (Mass flux) (kg/m^2s)

x คือ ค่าคุณภาพไอ (Vapor quality)

ρ_g คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะไอ (kg/m^3)

ρ_l คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของของเหลว (kg/m^3)

สมการในการหาค่าคุณภาพไอ (Vapor quality) ค่าคุณภาพไอเป็นสัดส่วนของการไหลทั้งหมด ซึ่งมักจะคิดในสถานะไอเป็นส่วนใหญ่ หาได้จากสมการ 3.11 [21]

$$x = \frac{G_g}{G} = \frac{G_g}{G_g + G_l} \tag{3.11}$$

สำหรับการสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ ค่าคุณภาพไอจะสามารถคำนวณได้จากค่าเอนทาลปีหรือปริมาตรจำเพาะของสองสถานะและค่าเอนทาลปีหรือปริมาตรจำเพาะของของเหลวอิ่มตัวและสถานะไอ [21] ดังแสดงในสมการ 3.12

$$x = \frac{h_{TP} - h_l}{h_g - h_l} \text{ หรือ } x = \frac{v_{TP} - v_l}{v_g - v_l} \tag{3.12}$$

เมื่อ h_{TP} คือ ค่าเอนทาลปีของสองสถานะ (J/kg)

h_l คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะของของเหลว (J/kg)

h_g คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะไอ (J/kg)

v_{TP} คือ ค่าปริมาตรจำเพาะของสองสถานะ (m^3/kg)

v_l คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะของของเหลว (m^3/kg)

V_g คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะไอ (m^3/kg)

ค่าฟลักซ์มวลของการไหลสองสถานะ (Mass flux) คือ มวลที่ไหลผ่านพื้นที่ต่อหน่วยเวลา หาได้จากสมการ 3.13 [21]

$$G = G_g + G_l \tag{3.13}$$

ค่าฟลักซ์มวลของของเหลว (Liquid mass flux) คือ ผลคูณระหว่างความหนาแน่นของของเหลวกับความเร็วที่ผิวหน้าของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid velocity) หาได้จากสมการ 3.14

$$G_l = \rho_l u_l \tag{3.14}$$

ค่าฟลักซ์มวลของไอ (Vapor mass flux) คือ ผลคูณระหว่างความหนาแน่นของไอ กับความเร็วที่ผิวหน้าของสารทำงานในสถานะของไอ (Superficial gas velocity) [21] หาได้จากสมการ 3.15

$$G_g = \rho_g u_g \tag{3.15}$$

เมื่อ u_l คือ ค่าความเร็วที่ผิวหน้าของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid-velocity) (m/s)

u_g คือ ค่าความเร็วที่ผิวหน้าของสารทำงานในสถานะของไอ (Superficial gas velocity) (m/s)

G_l คือ ค่าฟลักซ์มวลของของเหลว (Liquid mass flux) (kg/m^2.s)

G_g คือ ค่าฟลักซ์มวลของไอ (Vapor mass flux) (kg/m^2.s)

ค่าความเร็วที่ผิวหน้าของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid velocity) [38] หาได้จากสมการ 3.16

$$u_l = \frac{\dot{V}_l}{A_s} = \frac{u_l A_s}{A_s} \tag{3.16}$$

ความเร็วที่ผิวหน้าของสารทำงานในสถานะของไอ (Superficial gas velocity) หาได้จากสมการ 3.17 [21]

$$u_g = \frac{\dot{V}_g}{A_s} = \frac{u_g A_s}{A_s} \tag{3.17}$$

เมื่อ u_l คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของเหลว (m/s)

u_g คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของไอ (m/s)

$\dot{V}_l$ คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะของของเหลว (m^3/s)

$\dot{V}_g$ คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะของไอ (m^3/s)

A_s คือ ค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลของสารทำงาน (m^2)

การศึกษารูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ จะมีวิธีการและทฤษฎีในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

3.9.6 ผลจากการทดลองที่ได้จากการสังเกตภาพถ่ายและวิดีโอ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบการไหลสองสถานะในทางทฤษฎี ซึ่งสรุปถึงรูปแบบการไหลในแต่ละมุมเอียง และรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ

3.9.7 การจัดกลุ่มและจัดแบ่งรูปแบบการไหล ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการจัดแบ่งกลุ่มตามขนาดความยาวของฟองไอ ประกอบไปด้วย

3.9.7.1 การไหลแบบฟองไอ (Bubble flow) ความยาวของฟองจะมีขนาดไม่เกิน 0.021 เท่าของความยาวท่อในส่วนทำระเหย ($L_g \leq 0.021L_e$) และความกว้างของฟองไอจะมีขนาดไม่เกิน 0.26 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ($D_g \leq 0.26D_i$)

3.9.7.2 การไหลแบบก้อนไอ (Slug or plug flow) ความยาวของฟองจะมีขนาด

ตั้งแต่ 0.021 ถึง 0.23 เท่าของความยาวท่อในส่วนทำระเหย ($0.021L_e<L_s \leq 0.23L_e$) และความกว้างของฟองไอจะมีขนาดตั้งแต่ 0.26 ถึง 0.86 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ($0.26D_i<D_s\leq 0.86D_i$)

3.9.7.3 การไหลแบบโพรง (Chum flow) ความยาวของฟองจะมีขนาดตั้งแต่ 0.23 ถึง 0.53 เท่าของความยาวท่อในส่วนทำระเหย ($0.23L_e<L_s \leq 0.53L_e$) และความกว้างของฟองไอจะมีขนาดตั้งแต่ 0.86 ถึง 0.92 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ($0.86D_i<D_s \leq 0.92D_i$)

3.9.7.4 การไหลแบบวงแหวน (Annular flow) ความยาวของฟองจะมีขนาดมากกว่า 0.53 เท่าของความยาวท่อในส่วนทำระเหย ($L_s> 0.53L_e$) และความกว้างของฟองไอจะมีขนาดมากกว่า 0.92 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ($D_s> 0.92D_i$)

3.9.7.5 การไหลแบบแยกชั้น (Stratified flow) ความยาวของฟองจะมีขนาดไม่เกิน 0.25 เท่าของความยาวท่อในส่วนทำระเหย ($L_s\leq 0.25L_e$) และความกว้างของฟองไอจะมีขนาดไม่เกิน 0.81 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ($D_s\leq 0.81D_i$)

3.9.8 การหาค่าเปอร์เซ็นต์รูปแบบการไหล โดยจะใช้โปรแกรม Photoshop และโปรแกรม imagei j ในการสร้างกริดกับภาพที่ถ่ายไว้ แล้วหาความยาวของรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยจากนั้นจึงนำมาหาเปอร์เซ็นต์รูปแบบการไหลโดย [10]

3.9.9 การหาเปอร์เซ็นต์รูปแบบการไหล

3.9.9.1 นำไฟล์วิดีโอที่บันทึกรูปแบบการไหลมาทำให้เป็นไฟล์ภาพนิ่ง

3.9.9.2 เลือกภาพนิ่งที่เกิดรูปแบบการไหลและนำมาเข้าโปรแกรมเพื่อตีกริดและหาจำนวนกริดของการเกิดรูปแบบการไหล

3.9.9.3 ทำการวิเคราะห์หาร้อยละรูปแบบการไหล ดังสมการ 3.18

$$\text{ร้อยละรูปแบบการไหล} = \frac{\text{จำนวนกริดที่เกิดรูปแบบการไหล}}{\text{จำนวนกริดทั้งหมด}} \times 100 \qquad (3.18)$$

โดยที่ จำนวนกริด คือ จำนวนตารางสมมติที่ใช้ช่วยประมาณช่วงระยะ ตำแหน่งหรือพื้นที่การทำงานกับรูปภาพ โดยมีลักษณะเป็นตารางที่มีระยะห่างของแต่ละช่องเท่า ๆ กัน

นอกจากนี้หากพบการไหลรูปแบบอื่นนอกเหนือจากรูปแบบข้างต้นจะพิจารณารูปแบบการไหลตามทฤษฎีรูปแบบการไหลสองสถานะในแนวดิ่งและแนวนอน [35] ในหัวข้อ 2.5 เพิ่มเติม

3.9.10 การคำนวณค่า Uncertainty analysis [89]

เป็นการคำนวณความไม่แน่นอน ของการเก็บข้อมูล ที่เกิดจากเครื่องมือวัด และจำนวนซ้ำการทดลองโดยเริ่มจากการคำนวณค่าเฉลี่ย ตามสมการ 3.19, 3.20 และ 3.21

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + ... + x_n}{n_s}, \tag{3.19}$$

และการหา SD หาได้จากสมการ [90]

$$SD = \frac{\sqrt{(x_1 + \overline{x})^2 + (x_2 + \overline{x})^2 + (x_3 + \overline{x})^2 ... + (x_n + \overline{x})^2}}{n_s - 1}, \tag{3.20}$$

โดยการหา $u_{i,type\,A}$ หาได้จากสมการ [91]

$$u_{i,type\,A} = \frac{SD}{\sqrt{n_s}}, \tag{3.21}$$

โดย n คือ จำนวนของเครื่องมือวัดที่ใช้ การคำนวณตามสมการ 3.22

$$u_{i,type\,B} = \frac{a}{\sqrt{3}} \tag{3.22}$$

ในกรณีเครื่องมือวัด มีย่านการวัด เป็นค่าสูงและต่ำความไม่แน่นอน สามารถรวมใช้สมการ 3.23

$$u_c = \sqrt{\left(u_{i,type\,A}\right)^2 + \left(u_{i,type\,B}\right)^2 + ...etc.} \tag{3.23}$$

ความไม่แน่นอนที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้ [91] จากสมการ 3.24

$$u_c = k\,u_c. \tag{3.24}$$

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปราย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของสารทำงาน อัตราส่วนสนทัด อุณหภูมิส่วนทำระเหย เส้นสัมผัสเปียก มุมเอียงที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย และอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ซึ่งเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) เฉพาะส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยจะทำการใส่แผ่นแก้วกันความร้อนเข้าไป และใช้กาวซิลิโคนติดแผ่นแก้วกับสแตนเลส (AISI-304) ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 70, 80 และ 90° อุณหภูมิน้ำร้อนที่ให้ในส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราการเติมสารทำงาน 50 % ของปริมาตรส่วนทำระเหย อุณหภูมิน้ำเย็นที่ส่วนควบแน่น 20 °C อัตราการไหลของน้ำ 0.25 l/min สารทำงาน 3 ชนิด คือ 1) น้ำปราศจากไอออน DI 2) น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) 3) เอทานอล สำหรับการถ่ายภาพรูปแบบการไหลที่ได้จากการทดลองจะแสดงเฉพาะภาพถ่ายภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ซึ่งจะเลือกภาพที่มีพฤติกรรมการเดือดเกิดจากการเปลี่ยนรูปแบบการไหลอย่างชัดเจนเท่านั้น

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

4.1 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและอัตราส่วนสนทัดต่อรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

4.1.1 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

มุมเอียง 90° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.1

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของของเหลวในสองลักษณะการการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ [48] และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นกำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [92] ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นเมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 37.10 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.119 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.114 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 30.24 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0536 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.115 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 7.23 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0391 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.118 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 25.39 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยด

ของเหลว [93] จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง ซึ่งเกิดปรากฏการณ์การไหลแบบฟิล์มปกคลุมที่ผิวด้านหน้าเป็นส่วนมาก เพราะอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [94] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 43.53 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.126 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.109 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 32.52 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.123 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.107 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.90 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0429 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 10.90 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 13.05 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.2

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบ อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบ การไหลแบบก้อน [95] เปลี่ยนเป็น การไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลักของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 28.28 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.041 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.017 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 5.87 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0156 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 4.64 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0049 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.019 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 61.21 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 29.89 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.054 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.017 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 7.67 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0171 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.011 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 5.45 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0052 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.009 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 56.99 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.1 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			6.81	0.54
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
37.10	0.114	0.119	30.24	0.115	0.0536	7.23	0.118	0.0391		
									29.14	2.29
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
32.52	0.107	0.123	43.53	0.109	0.1246	10.90	0.133	0.0429		
									53.46	4.21

ตาราง 4.2 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°											
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									6.81	0.54
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°										
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
4.64	0.019	0.0049	5.87	0.021	0.0156	28.28	0.017	0.041		
									29.14	2.29
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°										
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
5.45	0.009	0.0052	7.67	0.011	0.0171	29.89	0.017	0.054		
									53.46	4.21

4.1.2 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

มุมเอียง 80° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.3

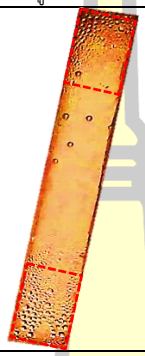
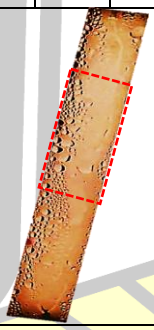
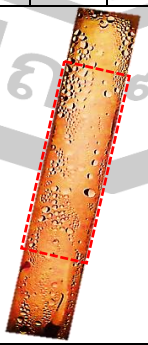
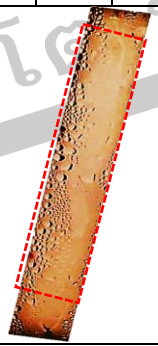
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของของเหลวในสองลักษณะการไหลแบบหยดของเหลว [96] จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นกำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย [63] ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น [97] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 32.16 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.121 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.112 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 39.69 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0541 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.113 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.55 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0421 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.115 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 17.6 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง [98] ซึ่งเกิดปรากฏการณ์การไหลแบบฟิล์มปกคลุมผิวด้านหน้าเป็นส่วนมาก [64] ด้วยเหตุผลที่ว่าอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [99] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่ม

หยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [100] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 42.32 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.126 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอเท่ากับ 0.109 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 32.16 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.124 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.108 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 13.90 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0495 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.111 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 11.62 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

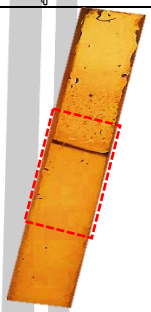
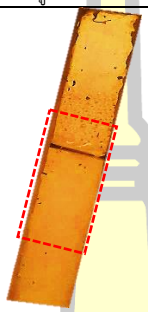
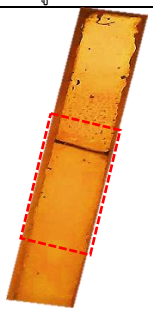
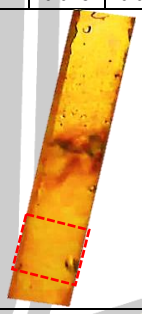
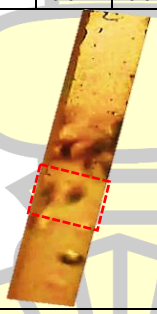
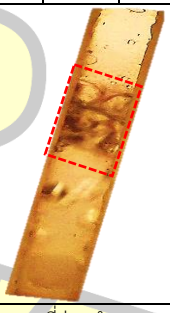
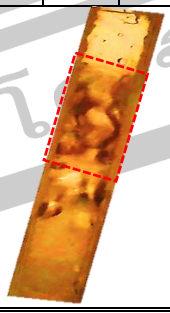
กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.4

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบ [101] อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบก้อน และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 27.50 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.045 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.020 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 8.22 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0156 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.017 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 2.41 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0032 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.016 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 61.87 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 32.64 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.057 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.019 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 9.76 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0176 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.016 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 2.57 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0041 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.012 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 55.03 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.3 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ					
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									14.21	1.21
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
32.16	0.112	0.121	39.69	0.113	0.0548	10.55	0.115	0.0429		
									40.27	3.17
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W	q_c (kW/m^2)
35.17	0.108	0.124	42.32	0.109	0.1257	13.90	0.111	0.0495		
									64.27	5.06

ตาราง 4.4 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°											
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									14.21	1.21
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°										
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
2.41	0.016	0.0032	8.22	0.017	0.0156	27.50	0.020	0.0451		
									40.27	3.17
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°										
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
2.57	0.012	0.0041	9.76	0.016	0.0176	32.64	0.019	0.0572		
									64.27	5.06

4.1.3 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ

มุมเอียง 70° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.5

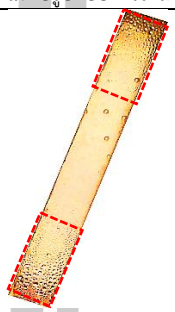
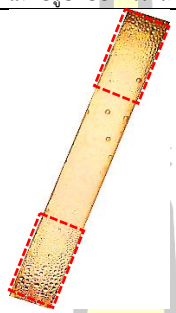
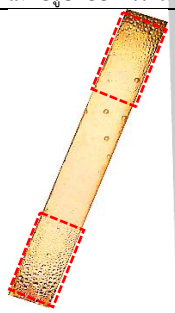
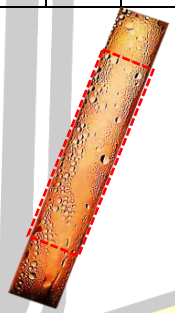
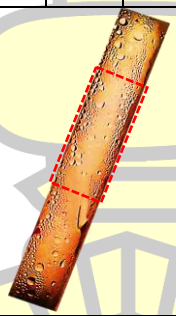
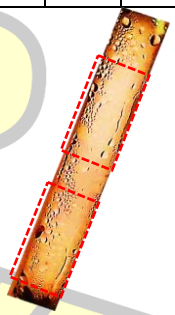
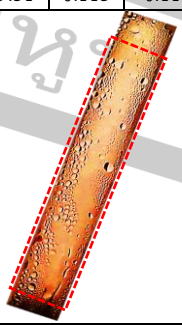
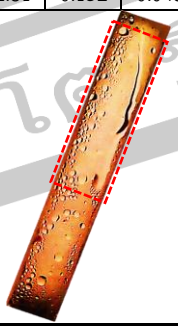
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นกำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [102] ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 27.69 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.123 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.115 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 36.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0367 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.128 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.35 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0411 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.137 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 25.79 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง ซึ่งเกิดปรากฏการณ์การไหลแบบฟิล์มปกคลุมผิวด้านหน้าเป็นส่วนมาก เพราะอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [103] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่าน

ส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [104] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 39.69 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1210 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.125 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 29.31 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.119 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.113 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 12.81 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0482 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 18.19 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

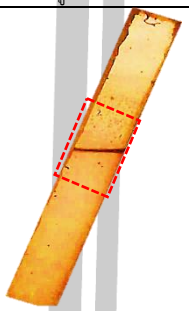
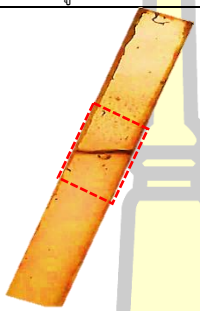
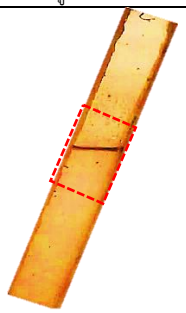
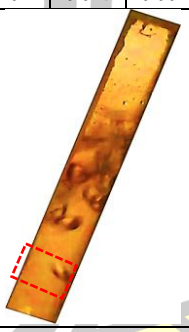
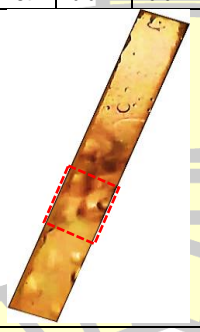
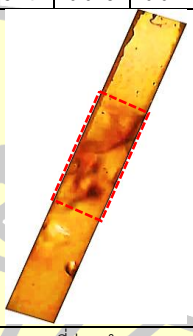
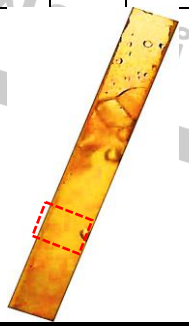
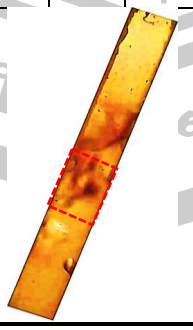
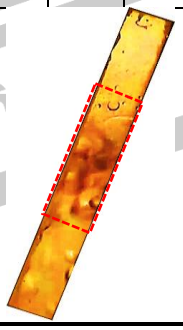
กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.6

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบก้อน และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 26.13 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 26.13 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.026 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 7.83 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0142 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.024 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 2.02 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0025 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.023 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 64.02 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 31.24 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0491 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.023 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 9.59 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0157 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.022 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 1.92 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0021 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 57.25 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									11.04	0.87
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
27.69	0.115	0.123	36.17	0.128	0.0367	10.35	0.137	0.0411		
									34.51	2.72
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
29.31	0.113	0.119	39.69	0.125	0.1210	12.81	0.132	0.0482		
									57.93	4.56

ตาราง 4.6 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°										
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			11.04	0.87
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°										
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
2.02	0.023	0.0025	7.83	0.024	0.0142	26.13	0.026	0.0442		
									34.51	2.72
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°										
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
1.92	0.021	0.0021	9.59	0.022	0.0157	31.24	0.023	0.0491		
									57.93	4.56

4.1.4 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

มุมเอียง 90° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.7

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นกำลังไหลย้อนกลับลง [103] มาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นเมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 35.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2425 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.124 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 15.69 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0867 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.127 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.22 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0412 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.136 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 43.92 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหล แบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง ซึ่งเกิดปรากฏการณ์การไหลแบบฟิล์มปกคลุมผิวด้านหน้าเป็นส่วนมาก เพราะอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [105] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่าน

ส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 39.10 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1283 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.125 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 30.88 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2110 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 8.45 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0465 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.131 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 21.57 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

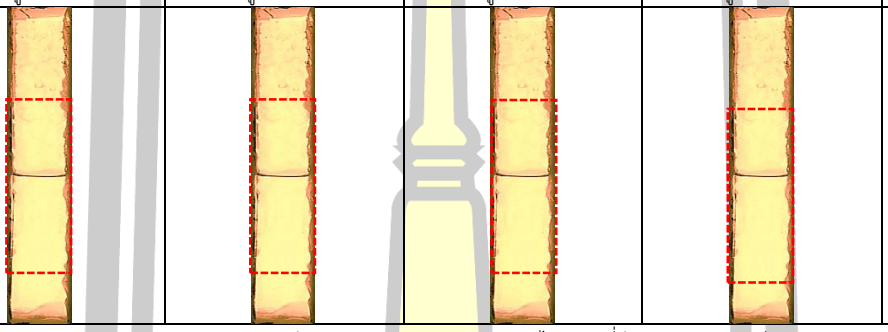
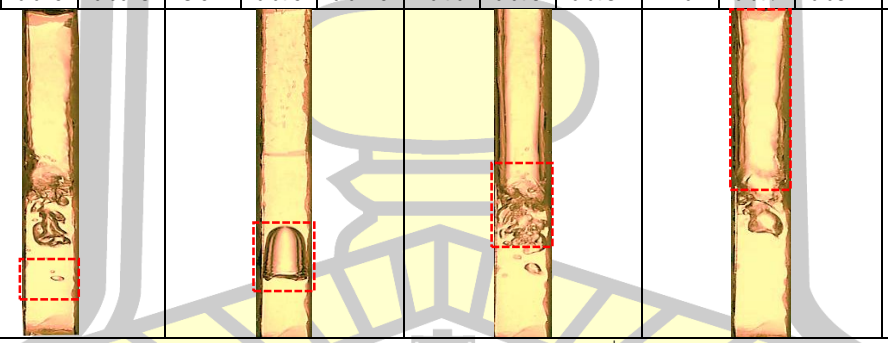
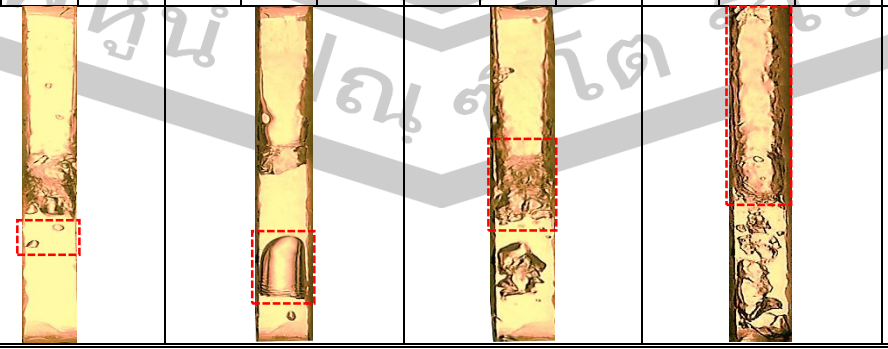
กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.8

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบก้อน มาเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง และเปลี่ยนมาเป็น การไหลแบบวงแหวน คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบวงแหวน คิดเป็น 21.04 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0827 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.039 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 10.30 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0352 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.038 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 5.61 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0216 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.036 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.68 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0048 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.026 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 83.41 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบวงแหวน คิดเป็น 26.70 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0929 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.029 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 11.59% มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0367 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.026 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 6.12 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0224 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.025 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.89 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0049 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.024 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 54.7 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.7 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			6.81	0.27
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
35.17	0.124	0.2425	15.69	0.127	0.0867	5.22	0.136	0.0412	29.73	1.17
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
30.88	0.122	0.2110	39.10	0.125	0.1283	8.45	0.131	0.0465		
									55.20	2.17

ตาราง 4.8 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
												6.81	0.27
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.68	0.026	0.0048	5.61	0.036	0.0216	10.30	0.038	0.0352	21.04	0.039	0.0827		
												29.73	1.17
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.89	0.024	0.0049	6.12	0.025	0.0224	11.59	0.026	0.0367	26.70	0.029	0.0929		
												55.20	2.17

4.1.5 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

มุมเอียง 80° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.9

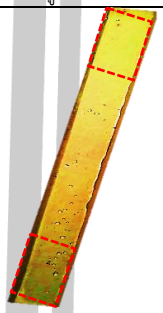
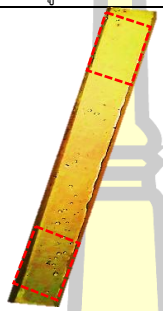
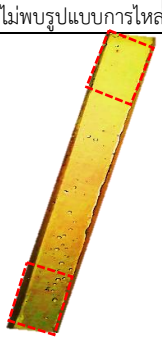
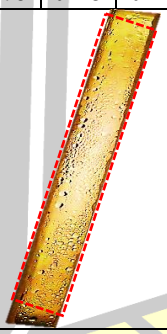
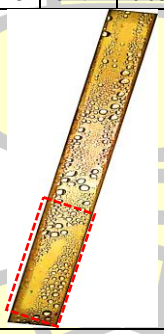
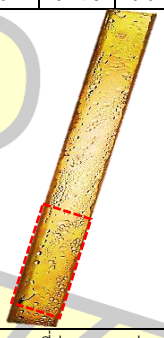
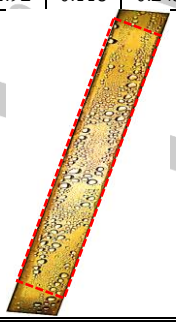
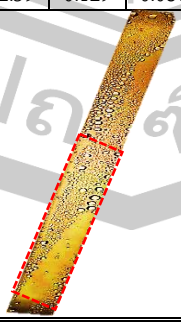
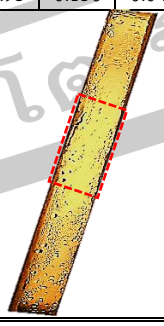
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นกำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 31.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2120 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.125 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 11.45 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0831 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 8.07 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0417 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.136 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 48.5 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหล แบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง ซึ่งเกิดปรากฏการณ์การไหลแบบฟิล์มปกคลุมผิวด้านหน้าเป็นส่วนมาก เพราะอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [106] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วย

แรงดึงดูดของโลก [94] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 41.92 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2453 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.118 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 12.59 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0875 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.93 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0472 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.130 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 34.56 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

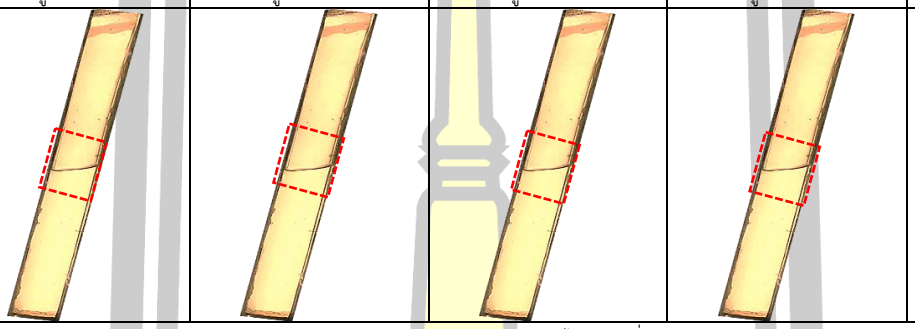
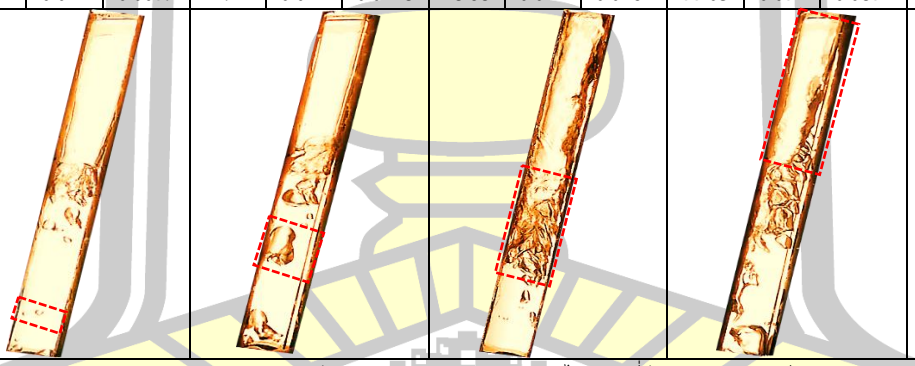
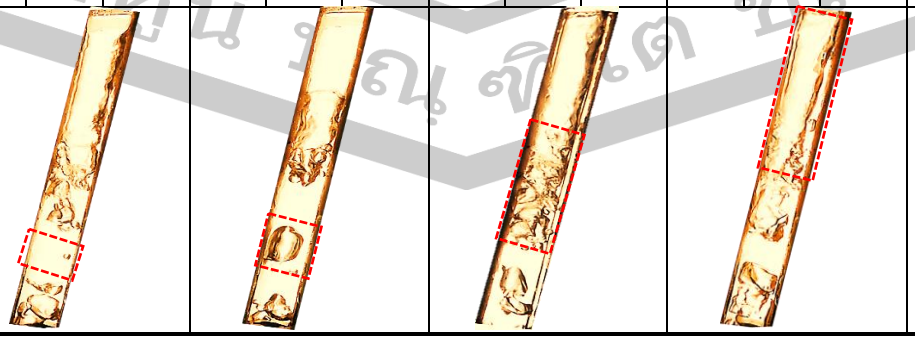
กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.10

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบก้อน มาเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง และเปลี่ยนมาเป็น การไหลแบบวงแหวน และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบ การไหลแบบแยกชั้น คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50% ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบวงแหวน คิดเป็น 33.05 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0837 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.037 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 18.68 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0462 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.027 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 2.92 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0218 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.022 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.21 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0039 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.012 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 45.14 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบแยกชั้น คิดเป็น 34.41 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0948 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.031 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 17.48 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0579 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.024 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 3.67 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0229 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.012 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.36 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0048 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.011 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 44.08 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.9 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									16.53	0.65
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
31.98	0.125	0.2120	11.45	0.132	0.0831	8.07	0.136	0.0417		
									40.85	1.61
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
41.92	0.118	0.2453	12.59	0.129	0.0875	10.93	0.130	0.0472		
									67.76	2.67

ตาราง 4.10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
												16.53	0.65
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.21	0.012	0.0039	2.92	0.022	0.0218	18.68	0.027	0.0462	33.05	0.037	0.0837		
												40.85	1.61
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบแยกชั้น			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.36	0.011	0.0048	3.67	0.012	0.0229	17.48	0.024	0.0579	34.41	0.031	0.0948		
												67.76	2.67

4.1.6 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ

มุมเอียง 70° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.11

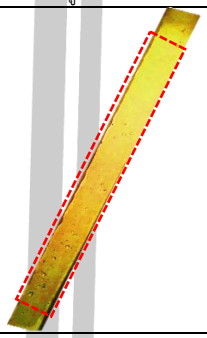
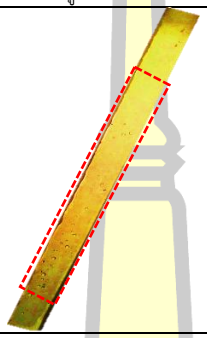
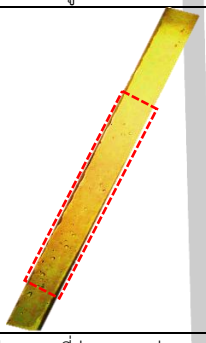
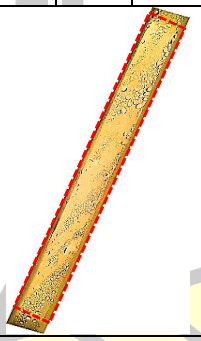
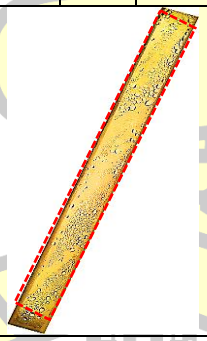
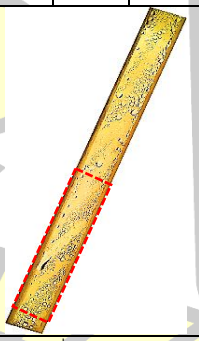
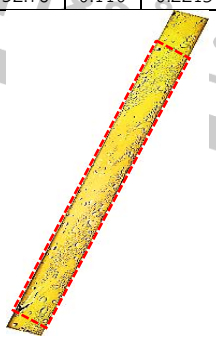
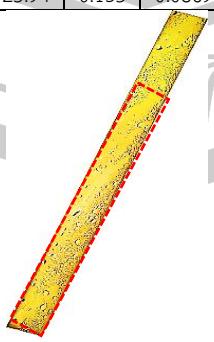
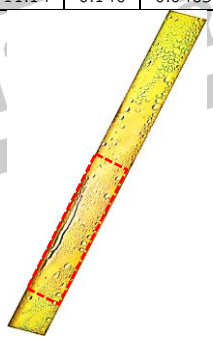
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นกำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 30.30 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2352 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.116 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 15.82 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0821 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.137 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.77 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0415 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.141 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 43.11 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหล แบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง ซึ่งเกิดปรากฏการณ์การไหลแบบฟิล์มปกคลุมผิวด้านหน้าเป็นส่วนมาก เพราะอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วน

ทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [107] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 25.94 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0869 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.135 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 32.76 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2215 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.110 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 11.14 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0465 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.140 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 30.16 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

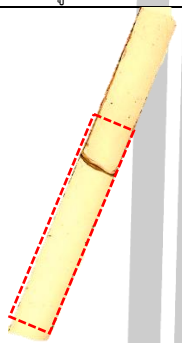
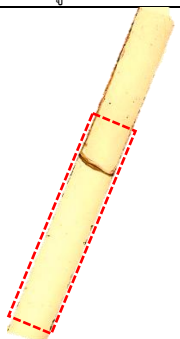
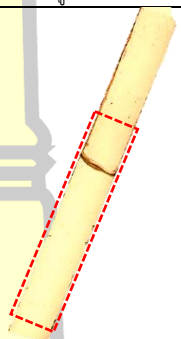
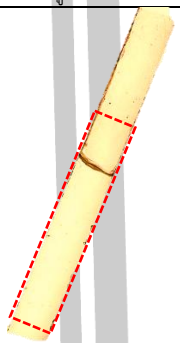
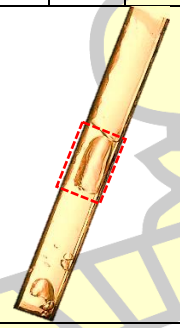
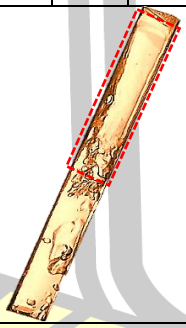
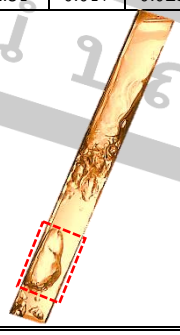
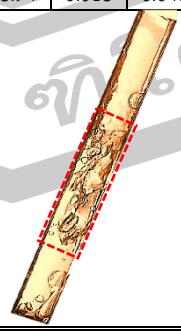
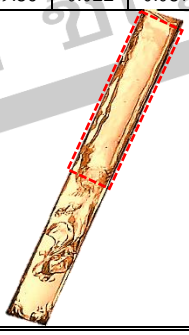
กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.12

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบก้อน มาเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง และเปลี่ยนมาเป็น การไหลแบบแยกชั้น คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบแยกชั้น คิดเป็น 28.43 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0832 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.024 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 16.03 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0453 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.020 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 1.95 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0225 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.019 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0035 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.020 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 53.42 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบแยกชั้น คิดเป็น 29.86 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0878 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.022 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 18.94 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0489 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.018 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 2.81 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0239 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.017 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.18 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0042 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.014 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 48.21 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.11 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 ℃ รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			11.04	0.43
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 ℃ รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
30.30	0.116	0.2352	15.82	0.137	0.0821	10.77	0.141	0.0415		
									35.09	1.38
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 ℃ รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
32.76	0.110	0.2215	25.94	0.135	0.0869	11.14	0.140	0.0465		
									61.41	2.42

ตาราง 4.12 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบแยกชั้น			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
												11.04	0.43
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบแยกชั้น			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.17	0.020	0.0035	1.95	0.019	0.0225	16.03	0.020	0.0453	28.43	0.024	0.0832		
												35.09	1.38
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบแยกชั้น			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.18	0.014	0.0042	2.81	0.017	0.0239	18.94	0.018	0.0489	29.86	0.022	0.0878		
												61.41	2.42

4.1.7 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

มุมเอียง 90° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.13 และ 4.14

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นกำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 11.56 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0821 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 12.03 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0538 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 4.36 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0413 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.149 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 72.05 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหล แบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ [108] ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง ซึ่งเกิดปรากฏการณ์การไหลแบบฟิล์มปกคลุมผิวด้านหน้าเป็นส่วนมาก เพราะอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วน

ทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [107] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบการไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 14.28 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0558 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 12.49 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0838 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 4.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0437 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.134 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 68.45 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.15 และ 4.16

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบก้อน มาเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง และเปลี่ยนมาเป็น การไหลแบบวงแหวน คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบวงแหวน คิดเป็น 25.58 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1268 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.036 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 14.71 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0615 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.034 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 12.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0367 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.033 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.76 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0057 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.031 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 45.97 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบวงแหวน คิดเป็น 32.19 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1276 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.028 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 15.67 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0761 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.026 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 11.67 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0479 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.025 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.89 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0065 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 39.58 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.13 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)

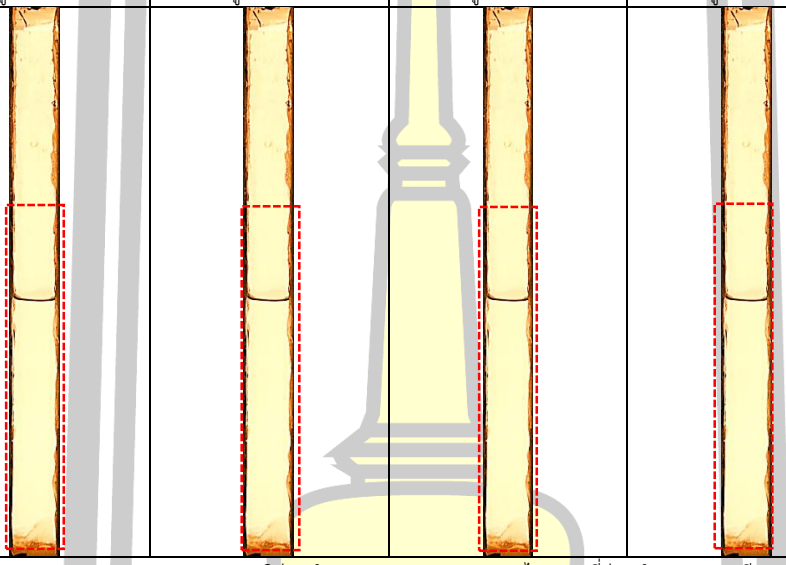
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									1.58	0.03
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
11.56	0.129	0.0821	12.03	0.132	0.0538	4.36	0.149	0.0413		
									29.14	0.57

ตาราง 4.14 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ)

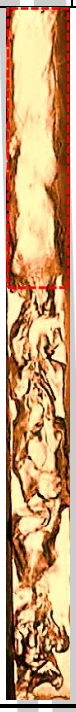
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
12.49	0.122	0.0838	14.28	0.128	0.0558	4.78	0.134	0.0437		
									55.20	1.09

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.15 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°														
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
												1.58	0.03
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.76	0.031	0.0057	12.98	0.033	0.0367	14.71	0.034	0.0615	25.58	0.036	0.1268		
												29.14	0.57

ตาราง 4.16 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°														
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.89	0.021	0.0065	11.67	0.025	0.0479	15.67	0.026	0.0761	32.26	0.028	0.1276		
												55.20	1.09

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.1.8 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

มุมเอียง 80° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.17 และ 4.18

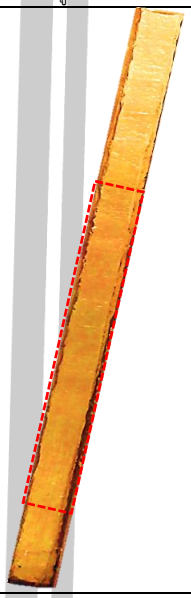
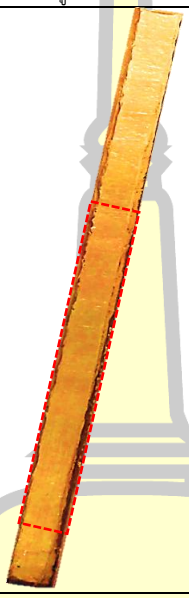
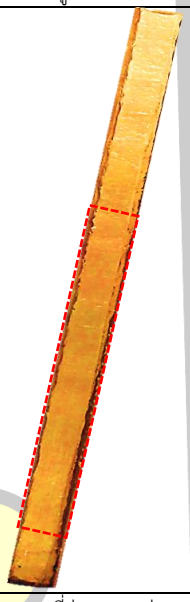
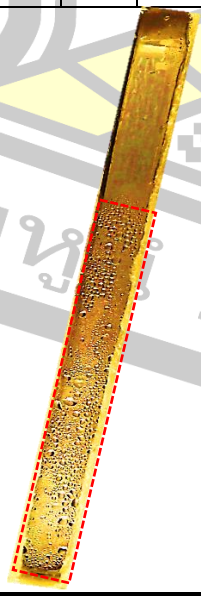
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นกำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 12.06 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0831 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.128 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 12.53 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0548 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.131 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 4.86 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0423 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 70.55 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหล แบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะ [108] อยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง ซึ่งเกิดปรากฏการณ์การไหลแบบฟิล์มปกคลุมผิวด้านหน้าเป็นส่วนมาก เพราะอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วน

ทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [107] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 14.86 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0568 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.126 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 13.06 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0848 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.121 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.36 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0447 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 66.72 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

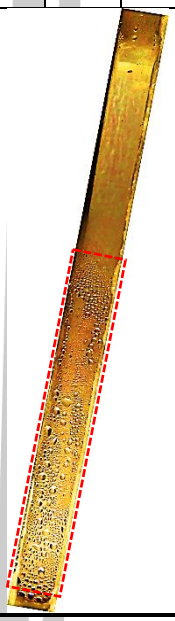
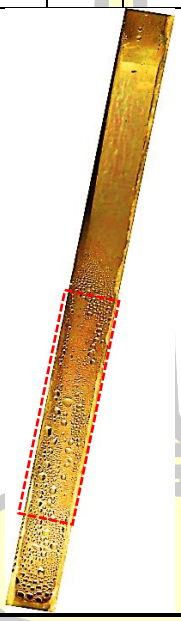
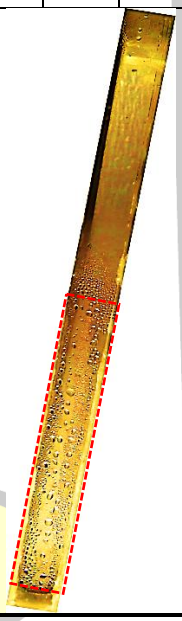
กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.19 และ 4.20

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบก้อน มาเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง และเปลี่ยนมาเป็น การไหลแบบวงแหวน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะพบ การไหลแบบแยกชั้น คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50% ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบวงแหวน คิดเป็น 33.82 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1269 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.040 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 15.14 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0617 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.039 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 10.89 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0377 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.037 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.32 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0058 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.031 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 39.83 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบแยกชั้น คิดเป็น 34.08 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1269 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.030 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 17.02 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0767 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.025 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 11.05 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0489 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.015 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.24 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0066 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.031 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 37.61 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.17 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)

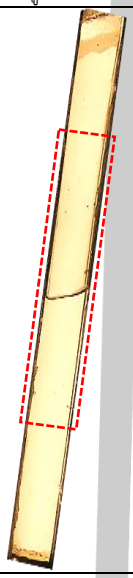
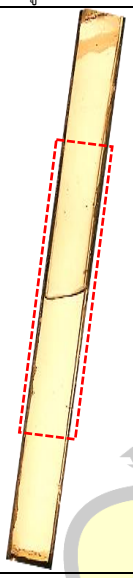
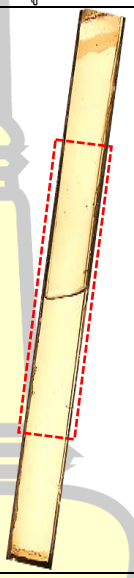
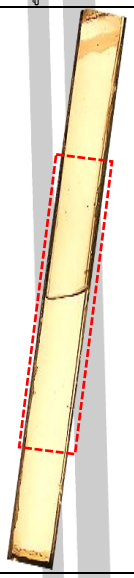
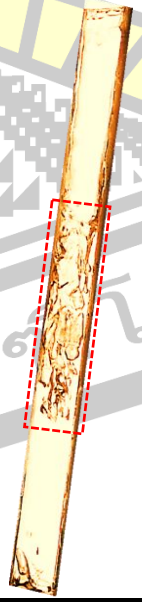
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			11.89	0.23
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
12.06	0.128	0.0831	12.53	0.131	0.0548	4.86	0.148	0.0423	40.27	0.79
										

ตาราง 4.18 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ)

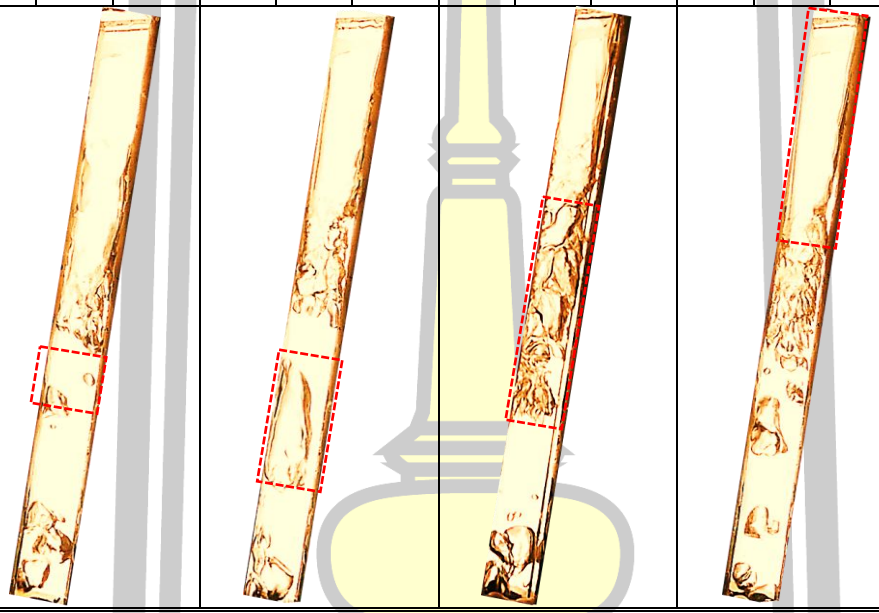
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
13.06	0.121	0.0848	14.86	0.126	0.0568	5.36	0.132	0.0447		
									66.60	1.31

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.19 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°														
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
												11.89	0.23
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบวงแหวน			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.32	0.031	0.0058	10.89	0.037	0.0377	15.14	0.039	0.0617	33.65	0.040	0.1269		
												40.27	0.79

ตาราง 4.20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°														
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบแยกชั้น			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.24	0.013	0.0066	11.05	0.015	0.0489	17.02	0.025	0.0767	34.08	0.030	0.1281		
												66.60	1.31

4.1.9 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ

มุมเอียง 70° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.21 และ 4.22

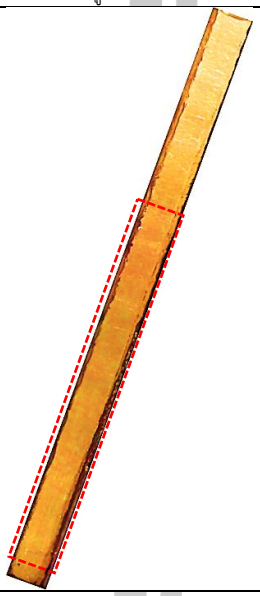
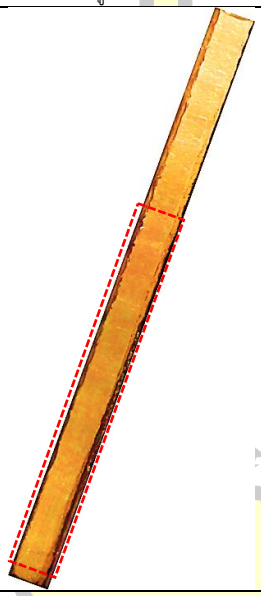
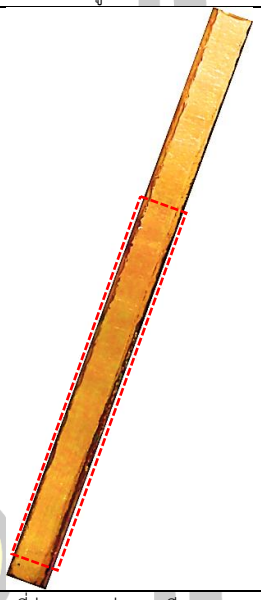
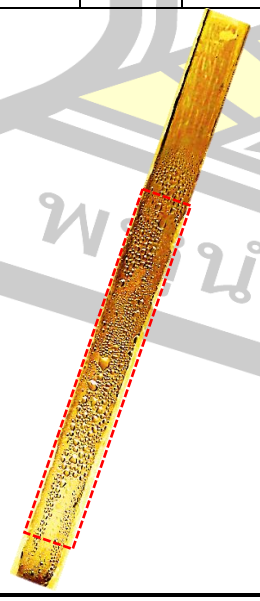
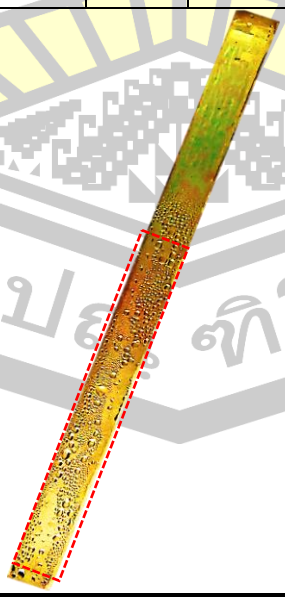
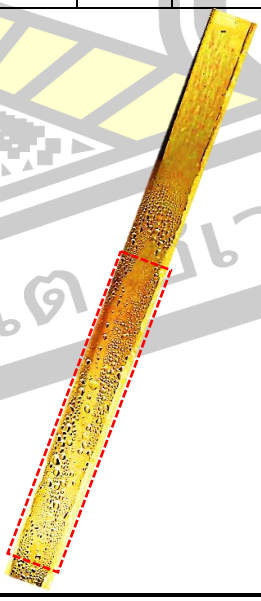
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นกำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 21.62 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0800 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.130 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 12.94 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0520 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.135 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0400 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.150 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 54.46 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหล แบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะ [108] อยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง ซึ่งเกิดปรากฏการณ์การไหลแบบฟิล์มปกคลุมผิวด้านหน้าเป็นส่วนมาก เพราะอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมา [94] ส่วนกันความร้อนผ่านส่วน

ทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [107] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 21.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0840 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.123 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 13.46 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0560 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.128 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 11.12 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0440 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.135 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 53.64 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

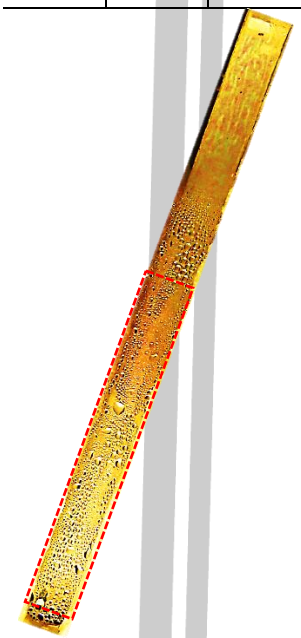
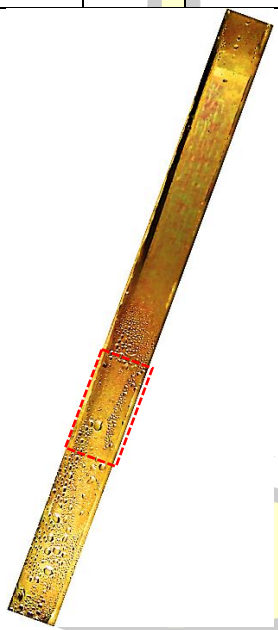
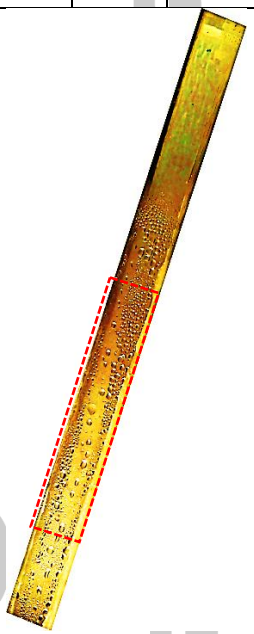
กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.23 และ 4.24

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบก้อน มาเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง และเปลี่ยนมาเป็น การไหลแบบแยกชั้น คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50% ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบแยกชั้น คิดเป็น 27.28 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1257 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอเท่ากับ 0.033 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 16.65 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0614 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.028 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 2.62 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0357 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.025 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.16 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0055 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.023 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 53.29 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบแยกชั้น คิดเป็น 29.12 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1271 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.031 m/s การไหลแบบโพรง คิดเป็น 18.93 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0755 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.027 m/s การไหลแบบก้อน คิดเป็น 3.81 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0478 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอเท่ากับ 0.023 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.24 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0065 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.013 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 47.9 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.21 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI)

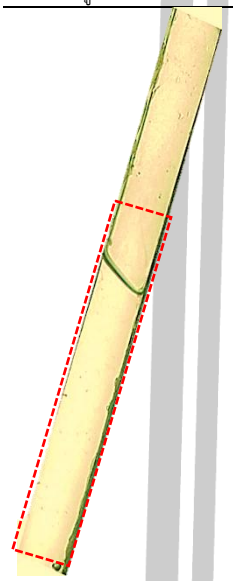
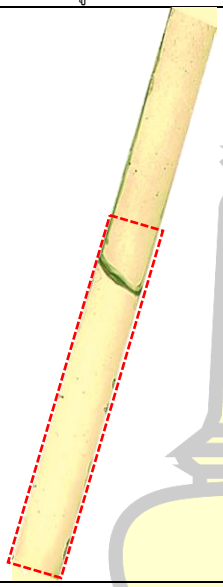
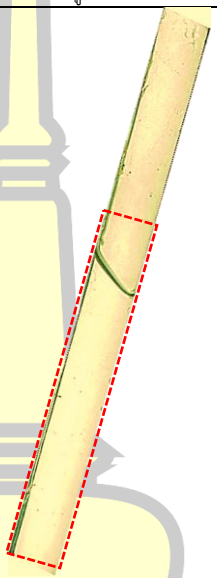
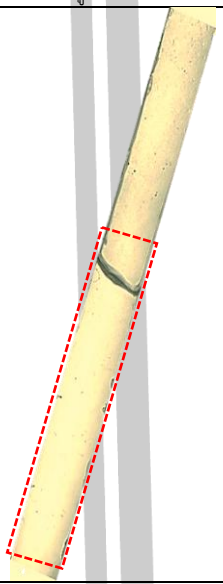
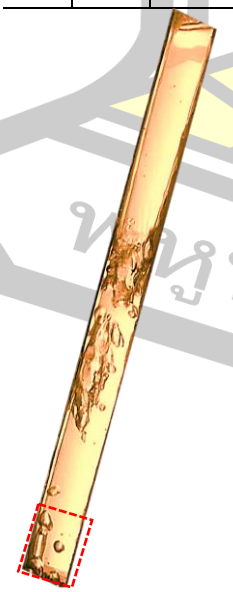
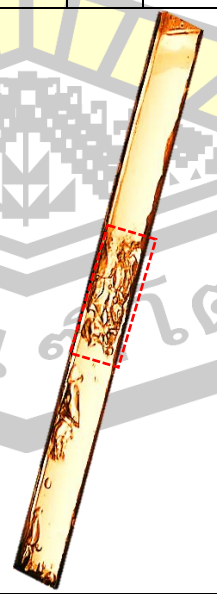
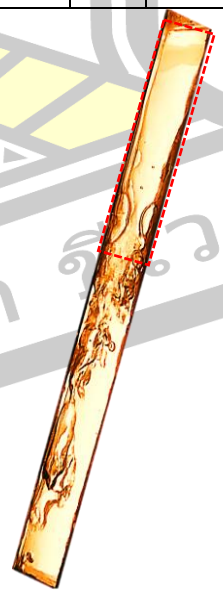
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			6.97	0.14
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
21.62	0.130	0.0800	12.94	0.135	0.0520	10.98	0.150	0.0400	34.51	0.68
										

ตาราง 4.22 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ)

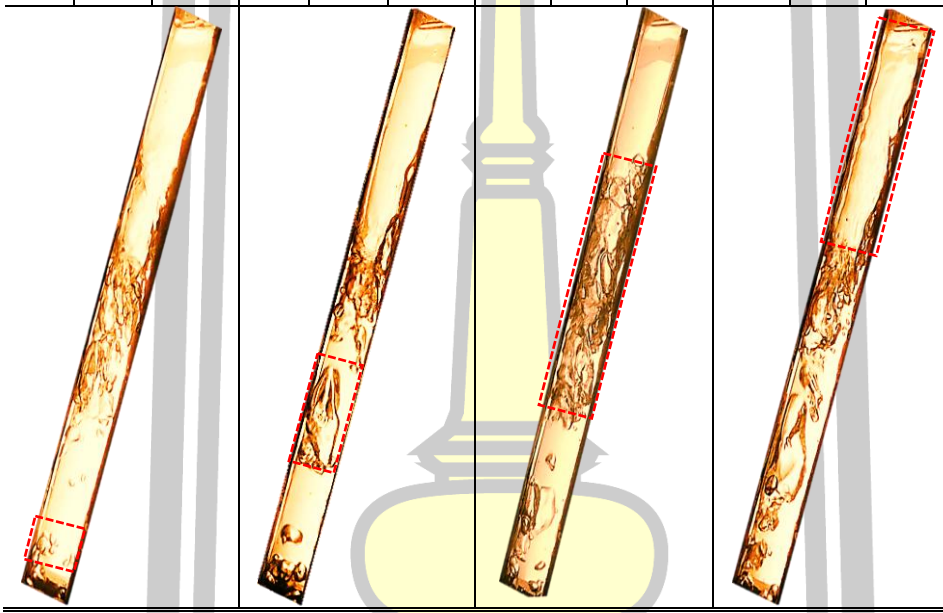
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
21.78	0.123	0.0840	13.46	0.128	0.0560	11.12	0.135	0.0440		
									61.41	1.21

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.23 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°														
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบแยกชั้น			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
												6.97	0.14
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°														
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบแยกชั้น			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.16	0.023	0.0055	2.62	0.025	0.0357	16.65	0.028	0.0614	27.28	0.033	0.1257		
												34.51	0.68

ตาราง 4.24 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°													
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบก้อน			การไหลแบบโพรง			การไหลแบบแยกชั้น			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.24	0.013	0.0065	3.81	0.023	0.0478	18.93	0.027	0.0755	29.12	0.031	0.1271		
												61.41	1.21

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.1.10 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

มุมเอียง 90° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.25

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวน จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบหยดที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [109] กำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นเมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 58.33 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0648 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.121 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 22.21 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0328 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.125 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 8.32 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0225 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 11.14 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวนรุ่นแรงมากขึ้น จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นมากขึ้น [108] แต่จะเกิดการไหลแบบหยดปกคลุมผิวด้านหน้าเป็น

ส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลย้อนกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [107] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปพบรูปแบบ การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 62.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0952 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.119 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 20.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0257 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.76 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0136 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.124 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 10.09 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.26

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 33.01 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0651 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.034 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 7.06 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0520 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 59.93 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 36.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0767 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.032 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 8.92 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0534 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.015 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 54.91 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.25 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบฟองอากาศ			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									18.31	1.44
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบฟองอากาศ			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
58.33	0.121	0.0648	22.21	0.125	0.0328	8.32	0.129	0.0225		
									45.41	3.58
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบฟองอากาศ			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
62.17	0.119	0.0952	20.98	0.122	0.0257	6.76	0.124	0.0136		
									76.11	5.99

ตาราง 4.26 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						18.31	1.44
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
7.06	0.021	0.0520	33.01	0.034	0.0651		
						45.41	3.58
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
8.92	0.015	0.0534	36.17	0.032	0.0767		
						76.11	5.99

4.1.11 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

มุมเอียง 80° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.27

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวน จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบหยดที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [109] กำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) พบรูปแบบ การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 58.22 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0660 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.110 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 22.56 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0340 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.115 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 8.45 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0240 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.120 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 10.77 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวนรุ่นแรงมากขึ้น [108] จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นมากขึ้น แต่จะเกิดการไหลแบบหยดปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก

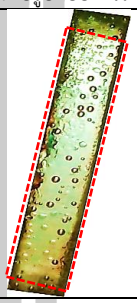
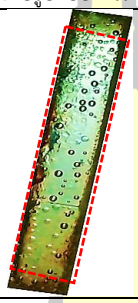
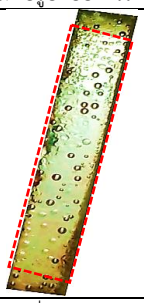
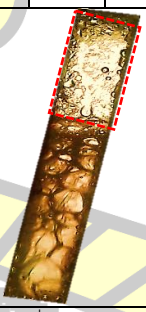
เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลย้อนกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [107] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปพบรูปแบบ การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 61.65 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1000 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.112 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 22.38 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0300 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.114 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.89 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0180 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.117 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 9.08 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.28

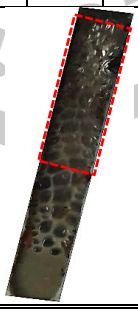
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 35.65 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0467 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.036 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 8.71 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0538 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 55.64 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 37.94 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0867 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.034 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 9.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0638 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.020 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 52.28 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.27 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°											
การไหลแบบผันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									33.62	2.65
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบผันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
58.22	0.110	0.0660	22.56	0.115	0.0340	8.45	0.120	0.0240		
									65.95	5.19
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบผันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
61.65	0.112	0.1000	22.38	0.114	0.0300	6.89	0.117	0.0180		
									103.6	8.16

ตาราง 4.28 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						33.62	2.65
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
8.71	0.021	0.0538	35.65	0.036	0.0467		
						65.95	5.19
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.78	0.020	0.0638	37.94	0.034	0.0867		
						103.6	8.16

4.1.12 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ

มุมเอียง 70° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.29

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวน จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบหยดที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [109] กำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 55.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0650 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.115 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 22.48 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0300 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.118 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 8.32 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0230 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.121 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 13.22 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวนรุ่นแรงมากขึ้น จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นมากขึ้น [108] แต่จะเกิดการไหลแบบหยดปกคลุม

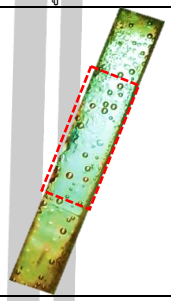
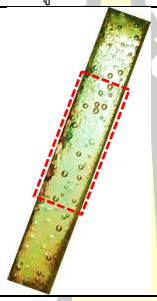
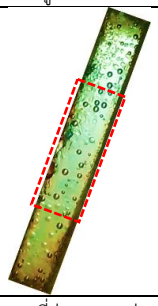
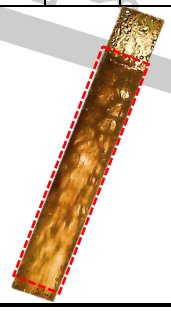
ด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลย้อนกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [107] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปพบรูปแบบ การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 61.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0980 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.114 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 22.33 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0290 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.117 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.75 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0170 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.120 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 9.14 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.30

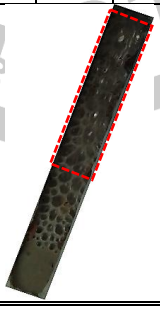
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 35.65 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0415 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.040 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 8.65 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0521 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.024 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 55.7 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 36.84 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0831 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.035 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 9.69 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0611 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 53.47 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.29 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°											
การไหลแบบฟองอากาศ			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									24.63	1.94
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบฟองอากาศ			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
55.98	0.115	0.0650	22.48	0.118	0.0330	8.32	0.121	0.0230		
									56.97	4.49
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบฟองอากาศ			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
61.78	0.114	0.0980	22.33	0.117	0.0290	6.75	0.120	0.0170		
									92.38	7.27

ตาราง 4.30 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						24.63	1.94
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
8.65	0.024	0.0521	35.65	0.040	0.0451		
						56.97	4.49
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.69	0.021	0.0611	36.84	0.035	0.0831		
						92.38	7.27

4.1.13 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

มุมเอียง 90° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.31 และ 4.32

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวน จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบหยดที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [109] กำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 38.35 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1127 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.126 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 22.72 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0567 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.130 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.06 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0326 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 32.87 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวนรุ่นแรงมากขึ้น จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นมากขึ้น [108] แต่จะเกิดการไหลแบบหยดปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก

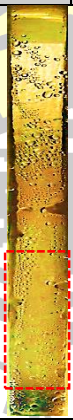
เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลย้อนกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [110] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 23.95 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1188 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 46.46 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1294 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.123 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0842 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.130 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 22.81 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.33 และ 4.34

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 12.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0567 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.029 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 1.15 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0390 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.023 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 86.68 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 24.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0767 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.027 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 2.54 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0421 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 72.48 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 4.31 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

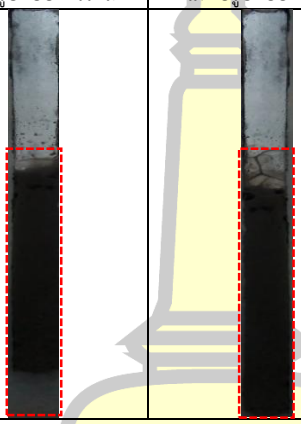
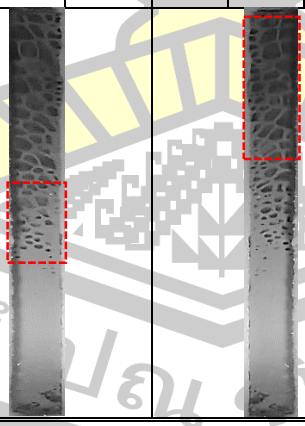
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบผันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									15.40	0.61
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
38.35	0.126	0.1127	22.72	0.130	0.0567	6.06	0.132	0.0326		
									45.41	1.79

ตาราง 4.32 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบผันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
46.46	0.123	0.1294	23.95	0.129	0.1188	6.78	0.130	0.0842		
									79.02	3.11

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.33 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						15.40	0.61
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
1.15	0.023	0.0390	12.17	0.029	0.0567		
						45.41	1.79

ตาราง 4.34 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
2.54	0.021	0.0421	24.98	0.027	0.0767		
						79.02	3.11

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.1.14 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

มุมเอียง 80° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.35 และ 4.36

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวน จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบหยดที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [109] กำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 39.79 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2428 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.123 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 23.77 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0569 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.45 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0327 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.133 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 29.99 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวนรุ่นแรงมากขึ้น จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นมากขึ้น [108] แต่จะเกิดการไหลแบบหยดปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก

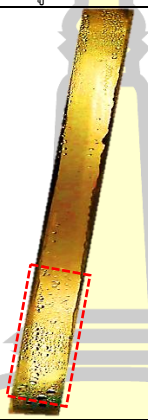
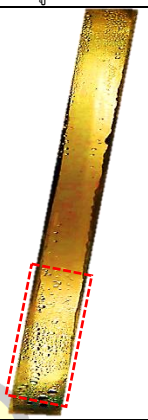
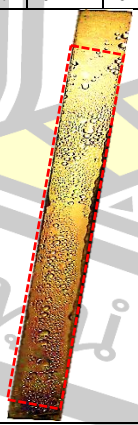
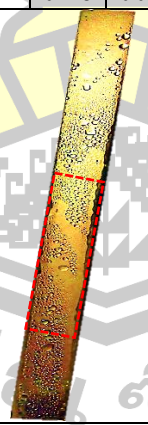
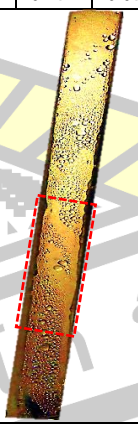
เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลย้อนกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [110] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 35.95 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0798 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.124 m/s การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 46.46 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1315 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.120 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0860 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.127 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 10.81 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.37 และ 4.38

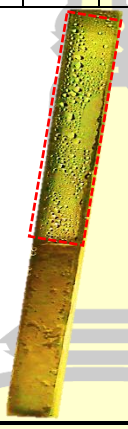
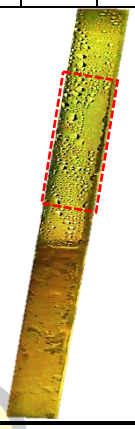
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบ แต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ของช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบการไหลแบบโพรง คิดเป็น 17.39 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.052 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.029 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 1.12 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.043 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.025 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 81.49 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 25.09 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.065 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.027 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 2.82 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.047 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.022 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 72.09 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.35 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

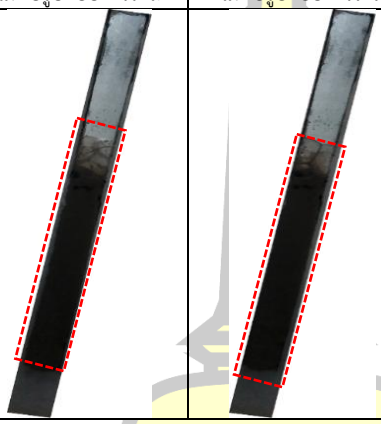
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°											
การไหลแบบผันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									33.62	1.32
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
39.79	0.124	0.1150	23.77	0.128	0.0580	6.45	0.131	0.0340		
									65.95	2.60

ตาราง 4.36 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

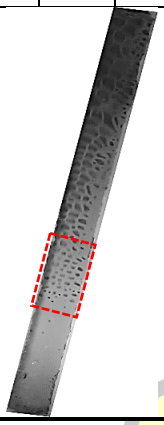
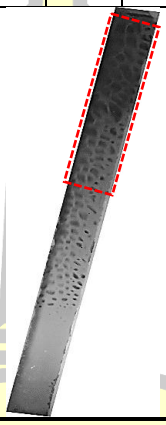
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบผันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
46.46	0.120	0.1315	35.95	0.126	0.1205	6.78	0.127	0.0860		
									99.61	3.92

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.37 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						33.62	1.32
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
1.12	0.025	0.043	17.39	0.029	0.052		
						65.95	2.60

ตาราง 4.38 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
2.82	0.022	0.047	25.09	0.027	0.065		
						99.61	3.92

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.1.15 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ใช้คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) เป็นสารทำงานมุมเอียง 70° กับแนวระดับ

มุมเอียง 70° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.39 และ 4.40

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวน จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบหยดที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [109] กำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่น เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 39.24 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1132 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.125 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 23.65 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0568 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.126 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.51 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0332 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.1312 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 30.6 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวนรุ่นแรงมากขึ้น จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นมากขึ้น [108] แต่จะเกิดการไหลแบบหยดปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก

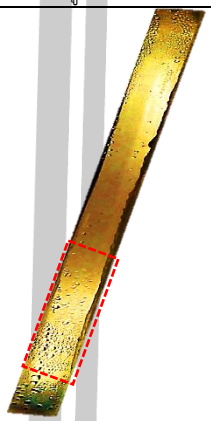
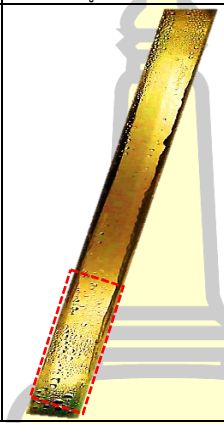
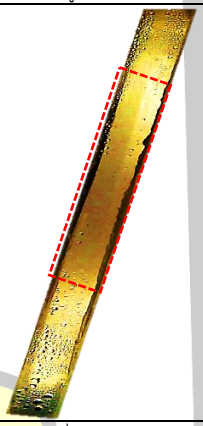
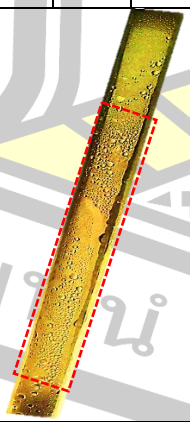
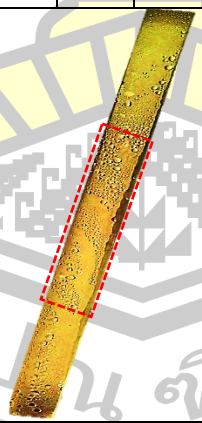
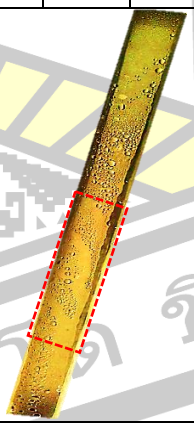
เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลย้อนกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [110] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 35.95 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1190 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.128 m/s การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 32.46 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1300 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0850 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 24.81 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.41 และ 4.42

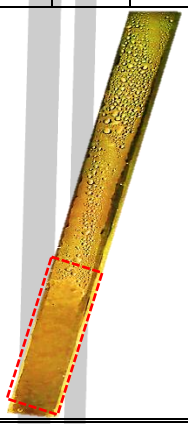
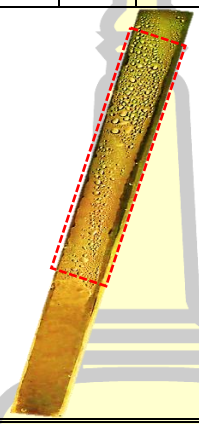
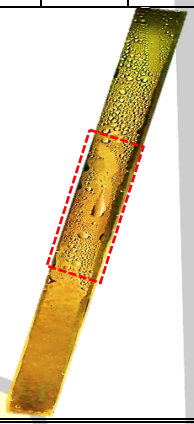
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบ แต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ของช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบการไหลแบบโพรง คิดเป็น 17.39 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0367 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.035 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 1.10 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.052 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 81.51 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 20.75 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0456 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.029 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 2.52 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.057 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 76.73 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.39 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบผันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									22.77	0.90
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
39.24	0.125	0.1132	23.65	0.126	0.0568	6.51	0.1312	0.0332		
									56.97	2.24

ตาราง 4.40 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

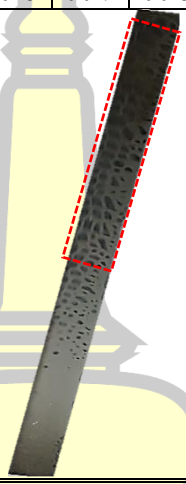
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°											
การไหลแบบฟองผสม			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ					
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
32.46	0.122	0.1300	35.95	0.128	0.1190	6.78	0.129	0.0850		
									89.48	3.52

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.41 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						22.77	0.90
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
1.10	0.021	0.052	17.39	0.035	0.0367		
						56.97	2.24

ตาราง 4.42 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
2.52	0.021	0.057	20.75	0.029	0.0456		
						89.48	3.52

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.1.16 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

มุมเอียง 90° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.43 และ 4.44

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [109] กำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นเมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 24.81 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1050 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.124 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 15.95 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0800 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.135 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 4.44 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0250 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.138 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 54.8 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวนขึ้นมา จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [108] และเกิดการไหลแบบหยดปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วน

ทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลย้อนกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [110] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 16.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1250 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.124 m/s การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 9.25 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0900 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.47 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0200 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.135 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 68.3 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.45 และ 4.46

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 41.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1020 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.040 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 9.34 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0750 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.032 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 49.49 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 44.23 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1120 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.038 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 11.26 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0850 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.030 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 44.51 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.43 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบฝันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									14.21	0.28
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
24.81	0.124	0.1050	15.95	0.135	0.0800	4.44	0.138	0.0250		
									42.51	0.84

ตาราง 4.44 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°

การไหลแบบฝันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
9.25	0.129	0.0900	16.98	0.131	0.1250	5.47	0.135	0.0200	71.47	1.41



พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.45 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						14.21	0.28

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
9.34	0.032	0.0750	41.17	0.040	0.1020		
						71.47	1.41

ตาราง 4.46 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°

การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
11.26	0.030	0.0850	44.23	0.038	0.1120		
						71.47	1.41

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.1.17 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

มุมเอียง 80° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.47 และ 4.48

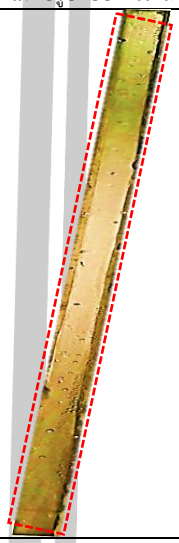
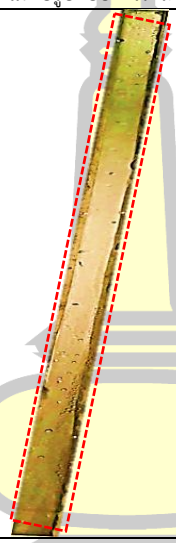
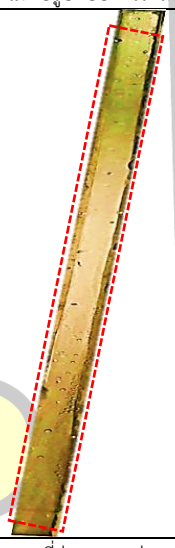
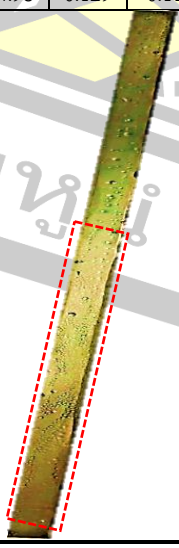
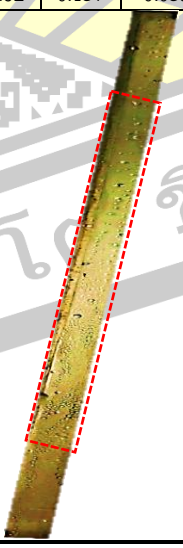
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [109] กำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นเมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบการไหลแบบหยด คิดเป็น 24.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.115 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 15.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.095 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.133 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 4.62 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.035 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.137 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 54.42 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวนขึ้นมา จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [108] และเกิดการไหลแบบหยดปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจาก

อุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลย้อนกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหยด้วยแรงดึงดูดของโลก [110] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 16.98% มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.142 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.128 m/s การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 9.59 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.110 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.118 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.58 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.040 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.142 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 67.85 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.49 และ 4.50

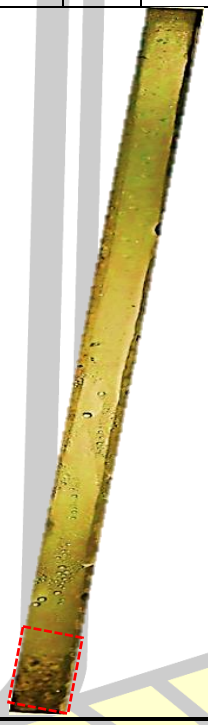
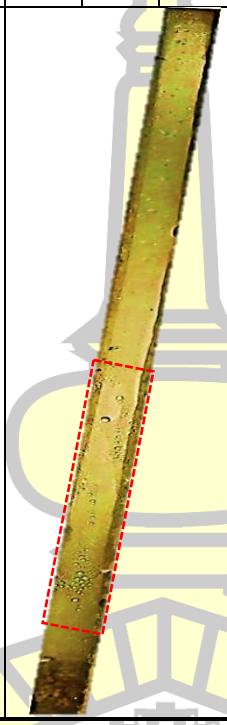
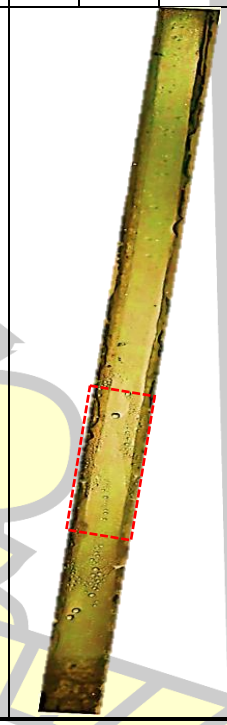
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 41.74 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1100 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.042 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 9.67 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0800 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.034 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 48.59 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 45.23 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1200 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.035 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 12.41 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0854 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.032 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 42.36 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

ตาราง 4.47 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°											
การไหลแบบฝันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									32.46	0.46
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
24.98	0.129	0.115	15.98	0.133	0.095	4.62	0.137	0.035		
									62.47	1.23

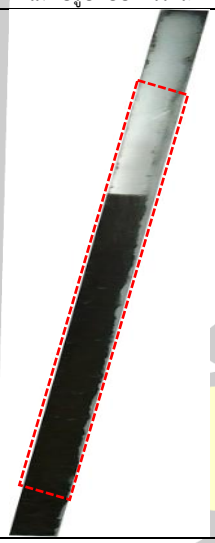
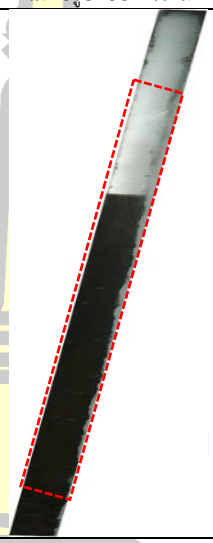
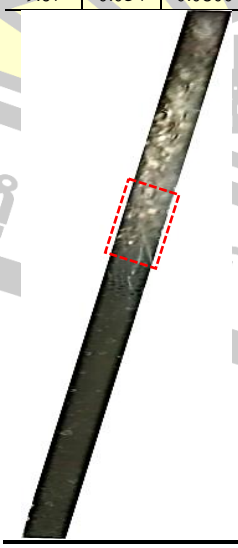
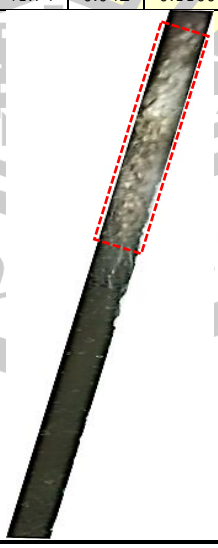
ตาราง 4.48 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°

การไหลแบบฝันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c	q_c
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	(W)	(kW/m^2)
9.59	0.118	0.110	16.98	0.128	0.142	5.58	0.142	0.040		
									92.64	1.82

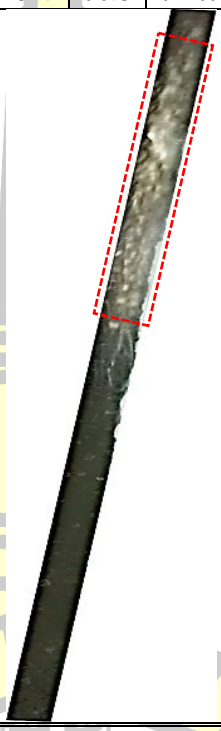
พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.49 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						32.46	0.46
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
9.67	0.034	0.0800	41.74	0.042	0.1100		
						62.47	1.23

ตาราง 4.50 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°

การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
12.41	0.032	0.0854	45.23	0.035	0.1200		
						92.64	1.82

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.1.18 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ

มุมเอียง 70° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.51 และ 4.52

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่และการไหลแบบฟิล์มที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [109] กำลังไหลย้อนกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นเมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 24.58 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.090 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.135 m/s การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 15.48 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.105 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.130 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 4.86 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.040 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.140 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 55.08 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบผันผวนขึ้นมา จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [108] และเกิดการไหลแบบหยดปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจาก

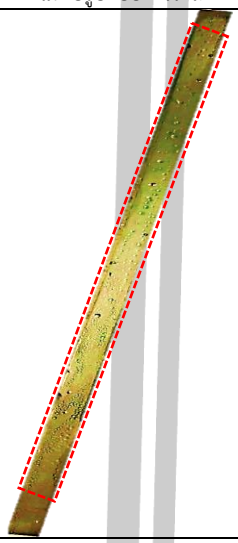
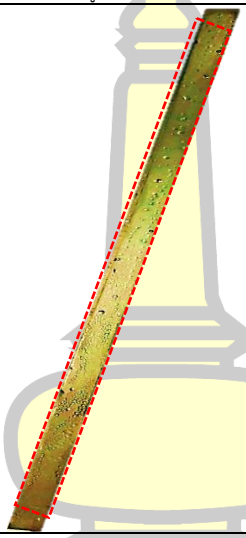
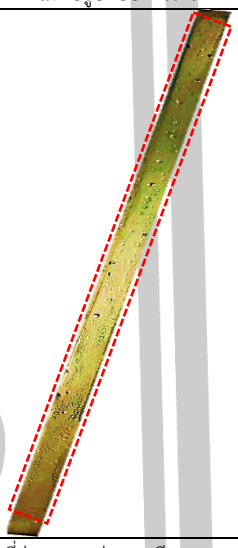
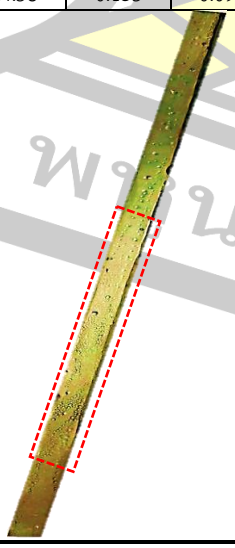
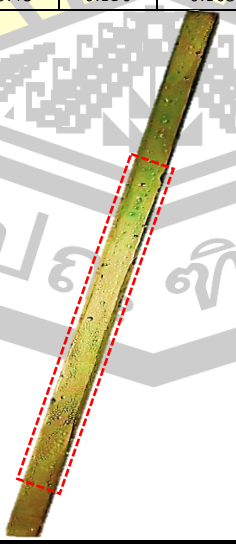
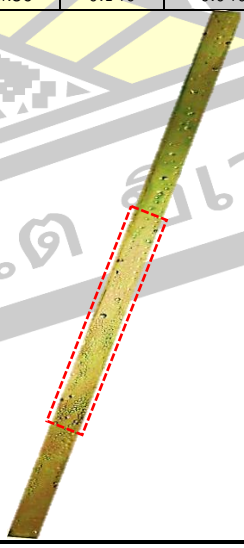
อุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลย้อนกลับ [94] ลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหยด้วยแรงดึงดูดของโลก [110] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบหยด คิดเป็น 16.57 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.110 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s การไหลแบบผันผวน คิดเป็น 9.52 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.092 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.53 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0416 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.141 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 68.38 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.53 และ 4.54

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 39.77 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.040 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.0980 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 9.87 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0820 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.034 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 50.36 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 44.56 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1050 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.037 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 13.12 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0880 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.031 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 42.32 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

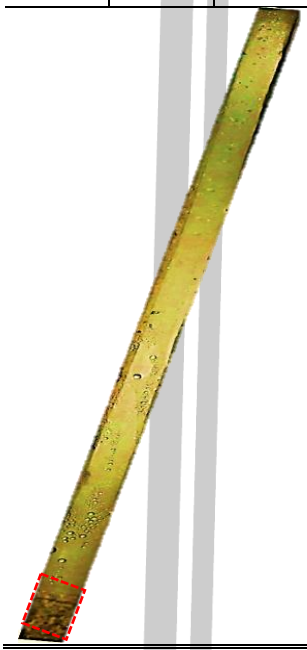
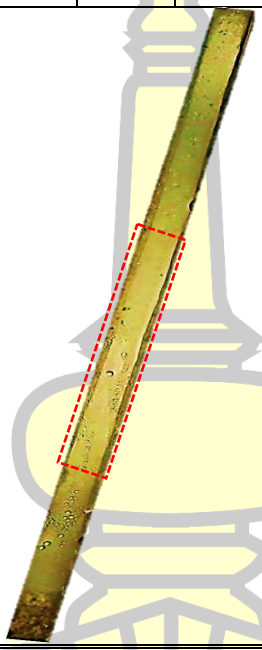
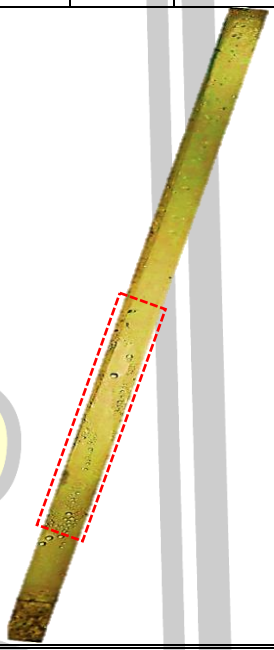
พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 4.51 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°											
การไหลแบบฝันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			21.33	0.42
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
24.58	0.135	0.090	15.48	0.130	0.105	4.86	0.140	0.040	52.32	1.03
										

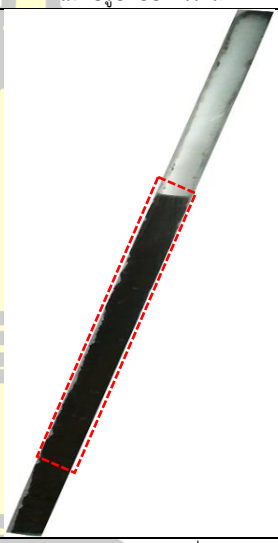
ตาราง 4.52 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°

การไหลแบบฝันผวน			การไหลแบบหยด			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.52	0.122	0.092	16.57	0.132	0.110	5.53	0.141	0.0416		
									82.90	1.63

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.53 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						21.33	0.42
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
9.87	0.034	0.0820	39.77	0.040	0.0980		
						52.32	1.03

ตาราง 4.54 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
13.12	0.031	0.0880	44.56	0.037	0.1050		
						82.90	1.63

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.1.19 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

มุมเอียง 90° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.55

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะเห็นการไหลของของเหลวในลักษณะหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่น โดยส่วนใหญ่จะเห็นการไหลของของเหลวในรูปแบบของฟิล์มบางๆ บนผิว [111] ด้านหน้าของส่วนควบแน่น [58] ซึ่งฟิล์มนี้จะไหลย้อนกลับลงไปยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [112] ไอน้ำที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น [113] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 51.09 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1210 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 21.73 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0731 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.126 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.57 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0421 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 16.61 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง แต่จะเกิดการไหลแบบฟิล์มปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [114] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทาง

กับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [106] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 53.57 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1240 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 20.14 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0751 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.124 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.95 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0431 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.129 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 15.34 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.56

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง [115] คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 28.28 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.040 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.078 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 4.64 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0063 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.518 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 61.21 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 29.89 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.052 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.518 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 5.45 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0065 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.051 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 56.99 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 4.55 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									13.78	1.09
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
21.73	0.126	0.0731	51.09	0.129	0.1210	10.57	0.132	0.0421		
									36.12	2.84
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
20.14	0.124	0.0751	53.57	0.122	0.1240	10.95	0.129	0.0431		
									61.01	4.80

ตาราง 4.56 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						13.78	1.09
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
13.06	0.020	0.0063	23.86	0.034	0.0351		
						36.12	2.84
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
14.12	0.015	0.0065	24.14	0.032	0.0367		
						61.01	4.80

4.1.20 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

มุมเอียง 80° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.57

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะเห็นการไหลของของเหลวมีการเกิดหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่น แต่ส่วนใหญ่จะเห็นการไหลของของเหลวในรูปแบบของฟิล์มบางๆ บนผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่น [116], [111] ซึ่งฟิล์มนี้จะไหลย้อนกลับลงไปยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [112] ไอน้ำที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น [113] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 52.19 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1212 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.126 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 20.73 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0732 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.123 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.67 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0452 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.131 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 16.41% เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง แต่จะเกิดการไหลแบบฟิล์มปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [114] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทาง

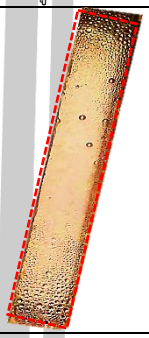
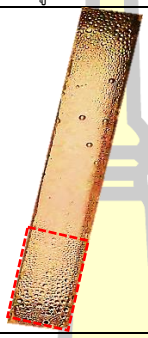
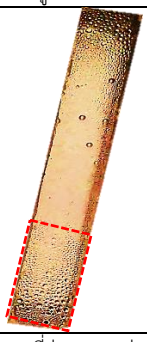
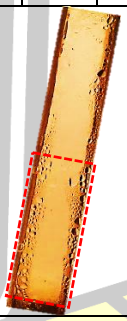
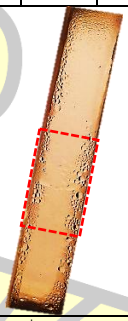
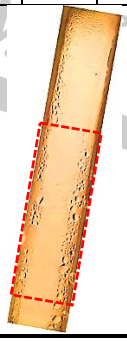
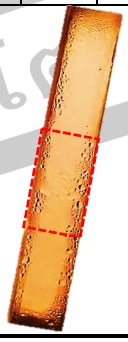
กับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [106] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 54.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1240 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.124 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 20.11 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0751 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 11.95 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0438 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.128 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 13.77 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.58

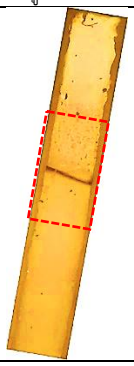
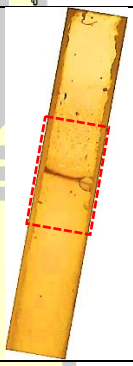
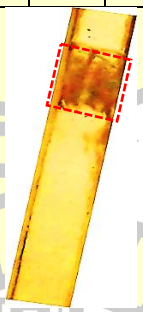
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง [115] คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ของช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 23.01 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0356 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.036 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.19 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0062 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.022 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 76.8 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 24.13 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0378 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.031 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.20 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0064 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 75.67 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 4.57 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			23.51	1.85
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
20.73	0.123	0.0732	52.19	0.126	0.1212	10.67	0.131	0.0452		
									49.88	3.93
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
20.11	0.122	0.0751	54.17	0.124	0.1240	11.95	0.128	0.0438		
									80.54	6.34

ตาราง 4.58 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						23.51	1.85
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
0.19	0.022	0.0062	23.01	0.036	0.0356		
						49.88	3.93
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
0.20	0.021	0.0064	24.13	0.031	0.0378		
						80.54	6.34

4.1.21 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ

มุมเอียง 70° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.59

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะเห็นการไหลของของเหลวในลักษณะหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่น แต่ส่วนใหญ่จะเห็นการไหลของของเหลวในรูปแบบของฟิล์มบางๆ บนผิว [111] ด้านหน้าของส่วนควบแน่น [116] ซึ่งฟิล์มนี้จะไหลย้อนกลับลงไปยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [112] ไอน้ำที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น [113] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 52.01 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1210 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.131 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 21.71 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0732 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.127 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 10.15 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0422 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.133 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 16.13 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง แต่จะเกิดการไหลแบบฟิล์มปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [114] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทาง

กับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [116] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 54.23 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1240 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 20.71 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0751 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.123 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 11.97 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0438 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.130 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 13.09 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.60

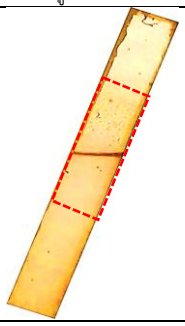
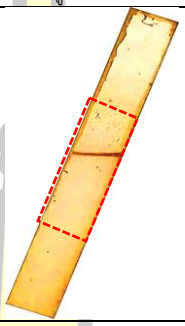
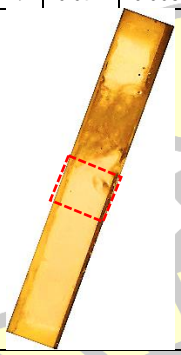
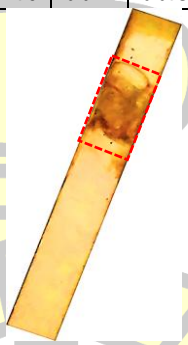
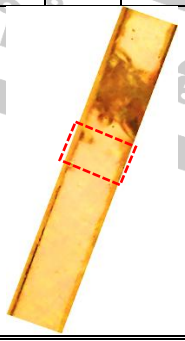
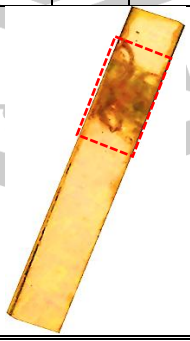
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง [115] คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ของช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 22.36 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0353 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.041 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.19 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0061 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.032 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 77.45 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 23.87 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0365 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.035 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0063 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 75.69 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 4.59 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			18.60	1.46
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
21.71	0.127	0.0732	52.01	0.131	0.1210	10.15	0.133	0.0422	44.39	3.49
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
20.71	0.123	0.0751	54.23	0.122	0.1240	11.97	0.130	0.0438	71.28	5.61

ตาราง 4.60 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						18.60	1.46
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.19	0.032	0.0061	22.36	0.041	0.0353		
						44.39	3.49
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.17	0.021	0.0063	23.87	0.035	0.0365		
						71.28	5.61

4.1.22 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

มุมเอียง 90° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.61

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะเห็นการไหลของของเหลวในลักษณะหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่น แต่ส่วนใหญ่จะเห็นการไหลของของเหลวในรูปแบบของฟิล์มบางๆ บนผิวด้านหน้า [111] ของส่วนควบแน่น [116] ซึ่งฟิล์มนี้จะไหลย้อนกลับลงไปยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [112] ไอน้ำที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น [113] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 48.76 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1221 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.132 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 18.51 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0321 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.31 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0316 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.134 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 27.42 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง แต่จะเกิดการไหลแบบฟิล์มปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [114] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่

ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [106] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 54.83 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1216 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.131 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 18.65 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0214 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.125 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0411 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.130 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 19.74 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.62

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง [115] คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 12.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0351 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.034 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 0.15 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0511 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.025 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 87.68 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 22.98 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0466 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.036 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 1.54 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0635 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.023 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 75.48 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.61 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			10.33	0.41
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
18.51	0.122	0.0209	48.76	0.132	0.1211	5.31	0.134	0.0316	36.12	1.42
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
18.65	0.125	0.0214	54.83	0.131	0.1216	6.78	0.130	0.0411	64.50	2.54

ตาราง 4.62 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			10.33	0.41
							
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
0.15	0.025	0.0511	12.17	0.034	0.0351	36.12	1.42
							
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
1.54	0.023	0.0635	22.98	0.036	0.0466	64.50	2.54
							

4.1.23 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

มุมเอียง 80° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.63

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะเห็นการไหลของของเหลวในลักษณะหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่น แต่ส่วนใหญ่จะเห็นการไหลของของเหลวในรูปแบบของฟิล์มบางๆ บนผิว [111] ด้านหน้าของส่วนควบแน่น [58] ซึ่งฟิล์มนี้จะไหลย้อนกลับลงไปยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [112] ไอน้ำที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น [113] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 49.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1217 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 18.57 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0219 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.122 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.32 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0315 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.133 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 26.33 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง แต่จะเกิดการไหลแบบฟิล์มปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [114] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่

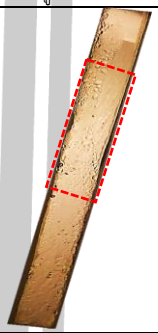
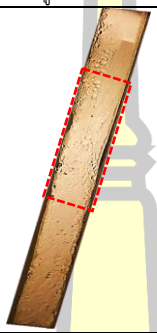
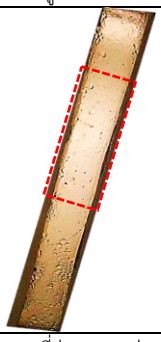
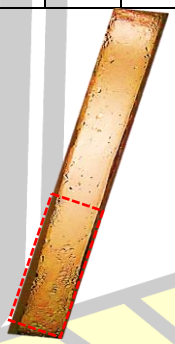
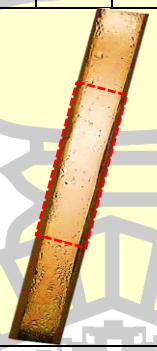
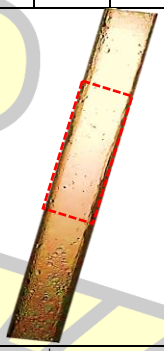
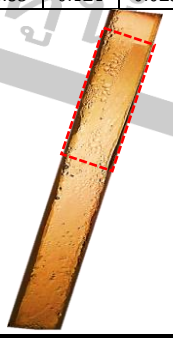
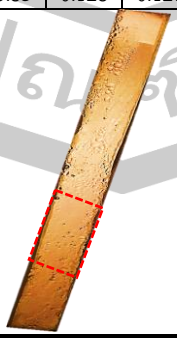
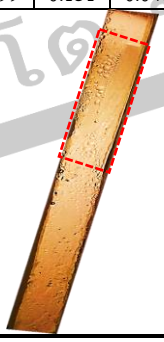
ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [106] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 55.83 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1216 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.128 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 18.85 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0258 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.121 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.99 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0417 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.131 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 18.33 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.64

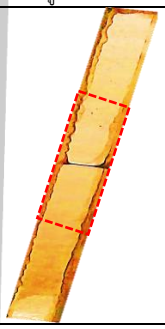
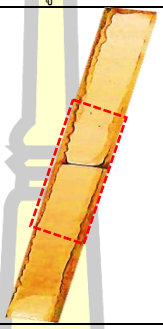
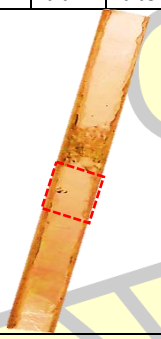
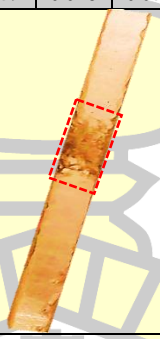
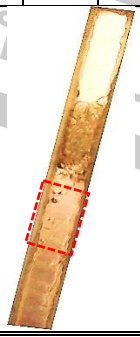
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง [115] คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ของช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 17.39 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0351 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.026 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 1.12 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0512 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 81.49 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 25.09 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0579 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.025 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 2.82 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0634 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.015 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 72.09 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.63 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			24.09	0.95
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
18.57	0.122	0.0219	49.78	0.128	0.1217	5.32	0.133	0.0315		
									52.79	2.08
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
18.85	0.121	0.0258	55.83	0.128	0.1216	6.99	0.131	0.0417		
									82.28	3.24

ตาราง 4.64 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						24.09	0.95
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
1.12	0.021	0.0512	17.39	0.026	0.0351		
						52.79	2.08
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
2.82	0.015	0.0634	25.09	0.025	0.0579		
						82.28	3.24

4.1.24 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ

มุมเอียง 70° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหยเป็น 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.65

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะเห็นการไหลของของเหลวในลักษณะหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่น แต่ส่วนใหญ่จะเห็นการไหลของของเหลวในรูปแบบของฟิล์มบางๆ บนผิว [111] ด้านหน้าของส่วนควบแน่น [116] ซึ่งฟิล์มนี้จะไหลย้อนกลับลงไปยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [112] ไอน้ำที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น [113] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 49.62 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0212 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.127 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 18.52 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0212 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.124 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.22 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0312 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.135 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 27.09 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง แต่จะเกิดการไหลแบบฟิล์มปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [114] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่

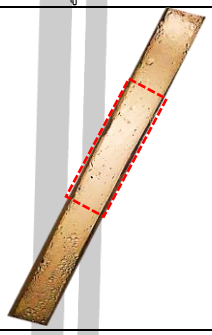
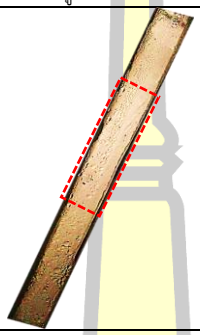
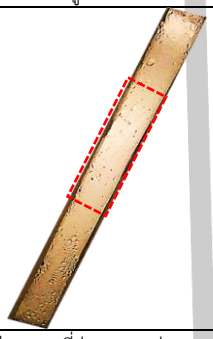
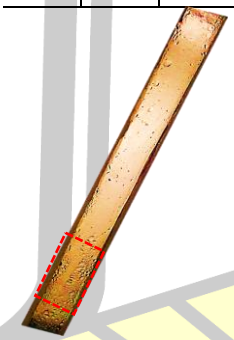
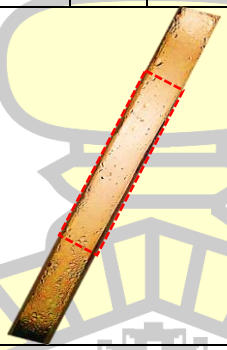
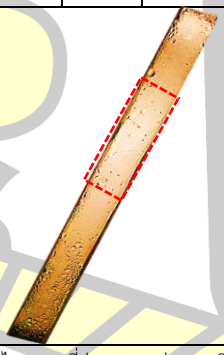
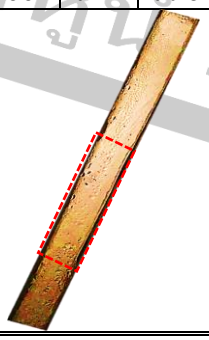
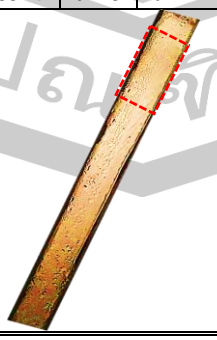
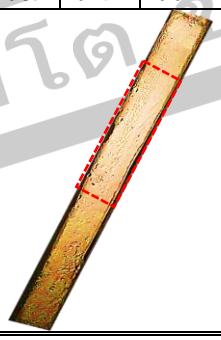
ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [106] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 55.73 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1212 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.125 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 18.81 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0251 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.121 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.59 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0411 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.131 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 18.87 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.66

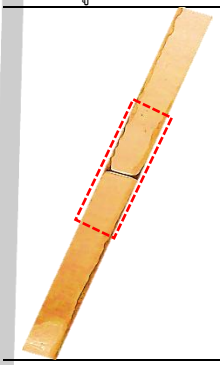
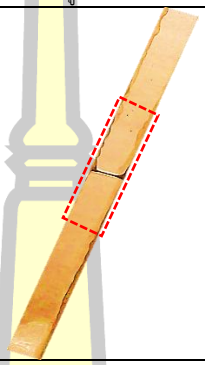
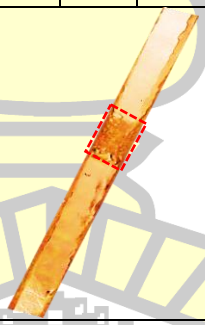
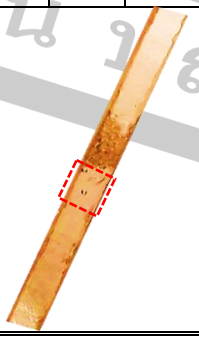
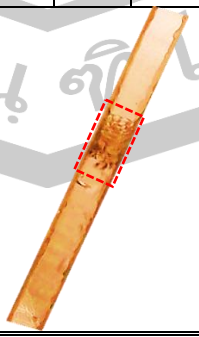
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง [115] คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ของช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 17.39 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0352 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.032 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 1.10 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0502 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.021 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 81.58 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 20.75 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0567 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.029 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 1.21 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0621 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.020 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 78.04 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 4.65 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			17.43	0.69
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
18.52	0.124	0.0212	49.62	0.127	0.1215	5.22	0.135	0.0312		
									43.81	1.72
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
18.81	0.121	0.0251	55.73	0.125	0.1212	6.59	0.131	0.0411		
									73.03	2.87

ตาราง 4.66 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						17.43	0.69
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
1.10	0.021	0.0502	17.39	0.032	0.0352		
						43.81	1.72
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
1.21	0.020	0.0621	20.75	0.029	0.0567		
						73.03	2.87

4.1.25 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

มุมเอียง 90° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.67 และ 4.68

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะเห็นการไหลของของเหลวในลักษณะหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่น แต่ส่วนใหญ่จะเห็นการไหลของของเหลวในรูปแบบของฟิล์มบางๆ บนผิว [111] ด้านหน้าของส่วนควบแน่น [58] ซึ่งฟิล์มนี้จะไหลย้อนกลับลงไปยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [112] ไอน้ำที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น [113] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 20.16 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1121 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.141 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 9.27 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0224 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.139 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.38 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0110 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.151 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 65.19 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง แต่จะเกิดการไหลแบบฟิล์มปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [114] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่

ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [106] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 23.16 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1211 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.141 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 9.42 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0312 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.131 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 7.41 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0422 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.145 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 60.01 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.69 และ 4.70

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามรถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง [115] คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ของช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 41.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2050 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.035 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 9.34 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1772 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.033 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 49.49 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 44.23 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.3958 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.030 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 11.26 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1821 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.020 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 44.51 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.67 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			7.39	0.15
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.27	0.139	0.0224	20.16	0.141	0.1121	5.38	0.151	0.0110		
									36.12	0.71

ตาราง 4.68 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 90°											
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.42	0.131	0.0312	23.16	0.139	0.1211	7.41	0.145	0.0422		
									62.17	1.22

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.69 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						7.39	0.15
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง			Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.34	0.033	0.1772	41.17	0.035	0.2050		
						36.12	0.71

ตาราง 4.70 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 90° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 90°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
11.26	0.020	0.1821	44.23	0.030	0.3958	62.17	1.22
							

4.1.26 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

มุมเอียง 80° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.71 และ 4.72

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะเห็นการไหลของของเหลวในลักษณะหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่น แต่ส่วนใหญ่จะเห็นการไหลของของเหลวในรูปแบบของฟิล์มบางๆ บนผิว [111] ด้านหน้าของส่วนควบแน่น [58] ซึ่งฟิล์มนี้จะไหลย้อนกลับลงไปยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [112] ไอน้ำที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น [113] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 21.75 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1211 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.152 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 9.69 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0612 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.143 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.93 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0431 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.159 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 62.63 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง แต่จะเกิดการไหลแบบฟิล์มปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [114] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่

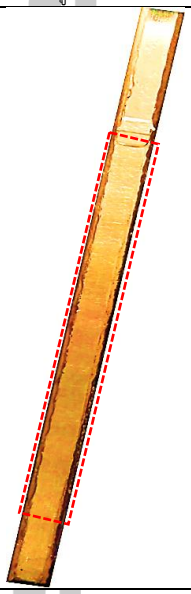
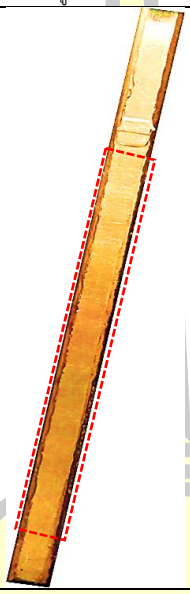
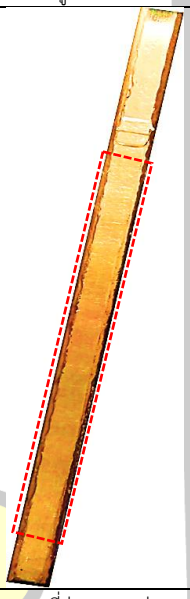
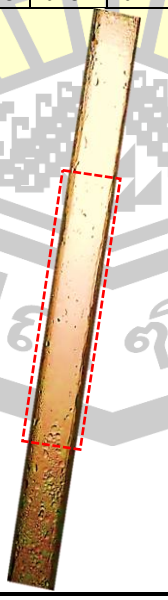
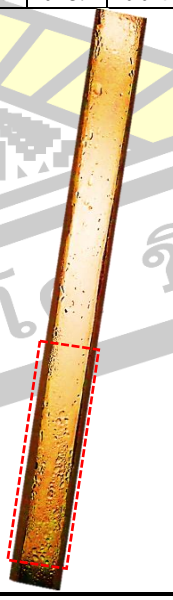
ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [106] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 24.17 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1412 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.136 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 9.12 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0634 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.130 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 7.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0455 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.139 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 58.93 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.73 และ 4.74

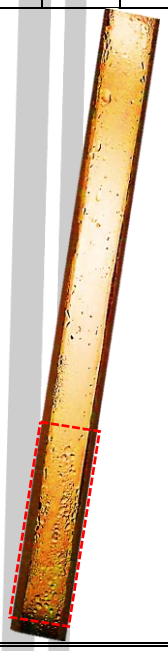
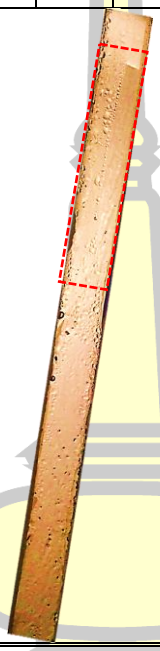
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจ สรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง [115] คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 41.74 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2672 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.035 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 9.67 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1193 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.031 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 48.59 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 45.23 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.3968 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.032 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 12.41 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2103 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.029 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 42.36 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.71 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล

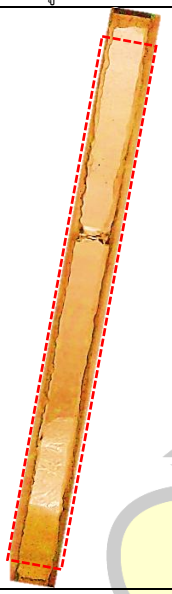
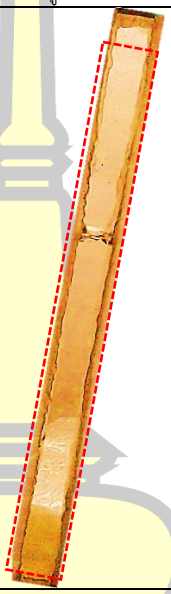
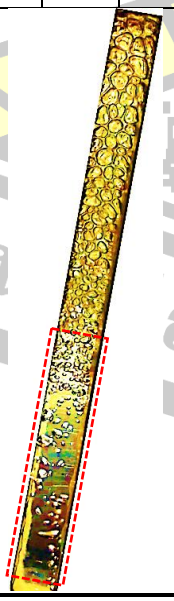
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			23.51	0.46
										
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.69	0.143	0.0612	21.75	0.152	0.1211	5.93	0.159	0.0431	49.88	0.98
										

ตาราง 4.72 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ)

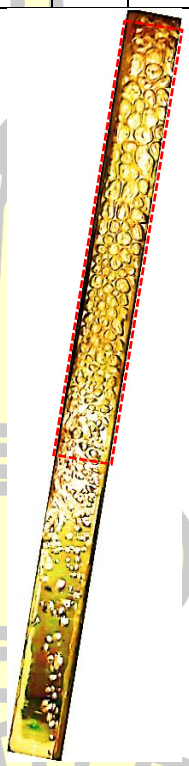
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 80°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.12	0.130	0.0634	24.17	0.136	0.1412	7.78	0.139	0.0455		
									80.54	1.59

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.73 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						23.51	0.46
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
9.67	0.031	0.1193	41.74	0.035	0.2672		
						49.88	0.98

ตาราง 4.74 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 80° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 80°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
12.41	0.021	0.2103	45.23	0.028	0.3968		
						80.54	1.59

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.1.27 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ

มุมเอียง 70° กับแนวระดับ โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) 50, 70 และ 90 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย ไม่เกิดการเดือดและไม่พบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ทั้งในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย เนื่องจากความร้อนสะสมที่ส่วนทำระเหยไม่สามารถเอาชนะความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ส่วนทำระเหย 70 และ 90 °C พบว่าเกิดการเดือดของสารทำงานและพบรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะเกิดการสะสมความร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของสารทำงานลดลง จึงทำให้สารทำงานเริ่มระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 2 กรณี ประกอบด้วย

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ดังแสดงในตาราง 4.75 และ 4.76

ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนจากกระเปาะที่ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงาน ความดันไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆหรือหยดน้ำ จากการควบแน่นได้ และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มทำงานแล้วจะเห็นการไหลของของเหลวในลักษณะหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่น แต่ส่วนใหญ่จะเห็นการไหลของของเหลวในรูปแบบของฟิล์มบางๆ บนผิว [111] ด้านหน้าของส่วนควบแน่น [58] ซึ่งฟิล์มนี้จะไหลย้อนกลับลงไปยังส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก [112] ไอน้ำที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น [113] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 21.01 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0354 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.141 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 9.15 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.051 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.138 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 5.78 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0068 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.144 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 64.06 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ช่วงนี้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะสังเกตเห็นกลุ่มการไหลแบบหยดของเหลว จากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านหน้าของส่วนควบแน่นน้อยลง แต่จะเกิดการไหลแบบฟิล์มปกคลุมด้านหน้าเป็นส่วนมาก เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สูงขึ้น [114] ทำให้เกิดการเดือดรุนแรงมีทิศทางการไหลที่ส่วนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่

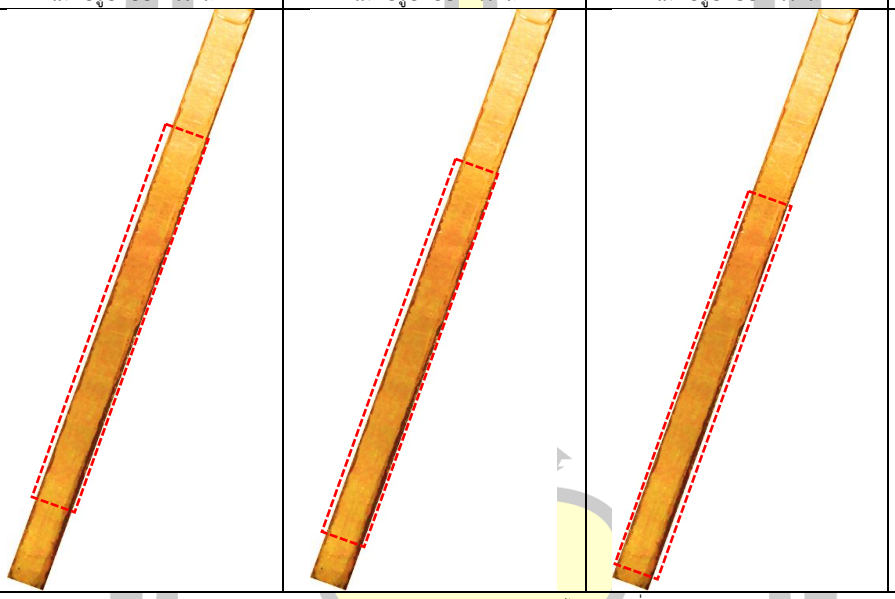
ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ไหลกลับลงมาส่วนกันความร้อนผ่านส่วนทำระเหย ด้วยแรงดึงดูดของโลก [106] เมื่อวัดจากขอบล่างของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) กับกระเปาะน้ำเย็น พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม คิดเป็น 22.19 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0367 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.140 m/s การไหลแบบหยด คิดเป็น 9.38 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.060 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.128 m/s การไหลแบบย้อนกลับ คิดเป็น 6.52 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.0072 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.150 m/s ตามลำดับ และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 61.91 % ของความยาวในส่วนควบแน่นทั้งหมด

กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ดังแสดงในตาราง 4.77 และ 4.78

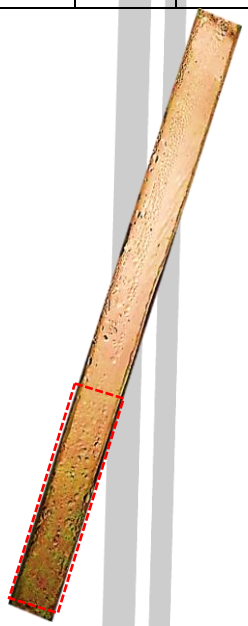
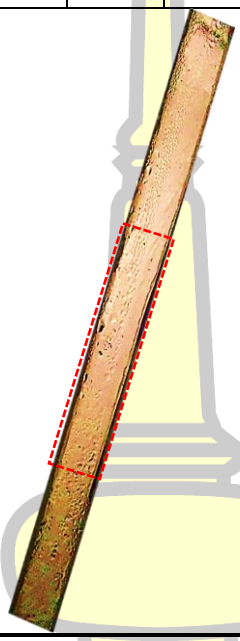
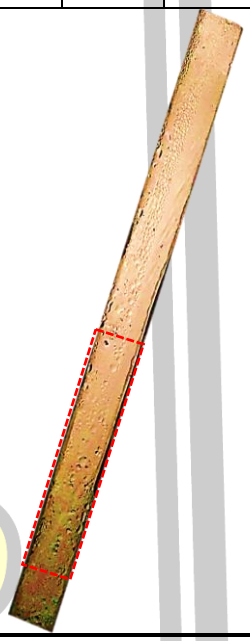
ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ที่ช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณภูมิของน้ำภายในกระเปาะยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) นี้ทำงานจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนทำระเหยได้ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) เริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบ แต่อาจสรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลแบบฟอง และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลแบบโพรง [115] คือ รูปแบบการไหลหลัก ของอัตราการเติม 50 % ช่วงอุณหภูมินี้ พบรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 39.77 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.2591 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.034 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 9.87 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1215 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.024 m/s ตามลำดับ และไม่พบรูปแบบการไหล คิดเป็น 50.36 % เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปแบบ การไหลแบบโพรง คิดเป็น 44.56 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.3672 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.031 m/s การไหลแบบฟอง คิดเป็น 13.12 % มีความยาวเฉลี่ยของฟองไอ คือ 0.1243 m ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ เท่ากับ 0.022 m/s และไม่เกิดรูปแบบการไหล คิดเป็น 42.32 % ของความยาวในส่วนทำระเหยทั้งหมด

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.75 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล

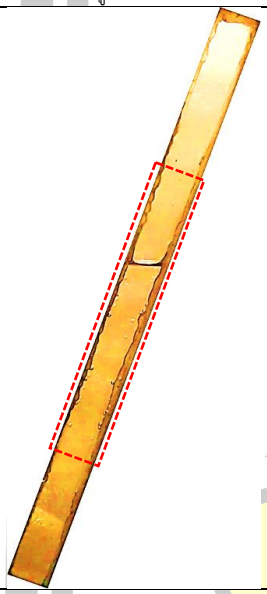
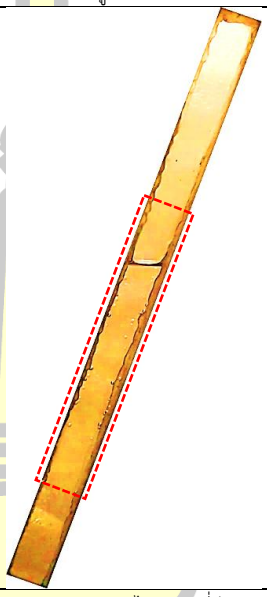
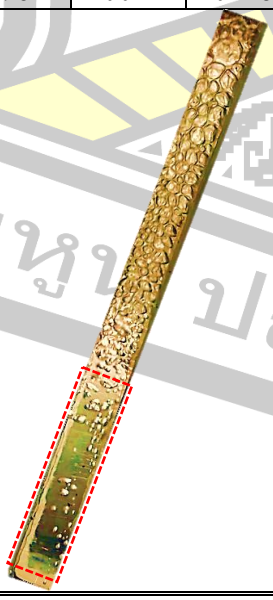
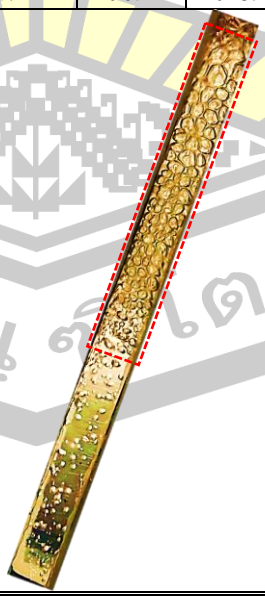
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
									15.11	0.30
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.15	0.138	0.051	21.01	0.141	0.0354	5.78	0.144	0.0068		
									42.07	0.83

ตาราง 4.76 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 70°										
การไหลแบบหยด			การไหลแบบฟิล์ม			การไหลแบบย้อนกลับ			Q_c (W)	q_c (kW/m^2)
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)		
9.38	0.128	0.060	22.19	0.140	0.0367	6.52	0.150	0.0072		
									70.12	1.38

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.77 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อเนื่อง)

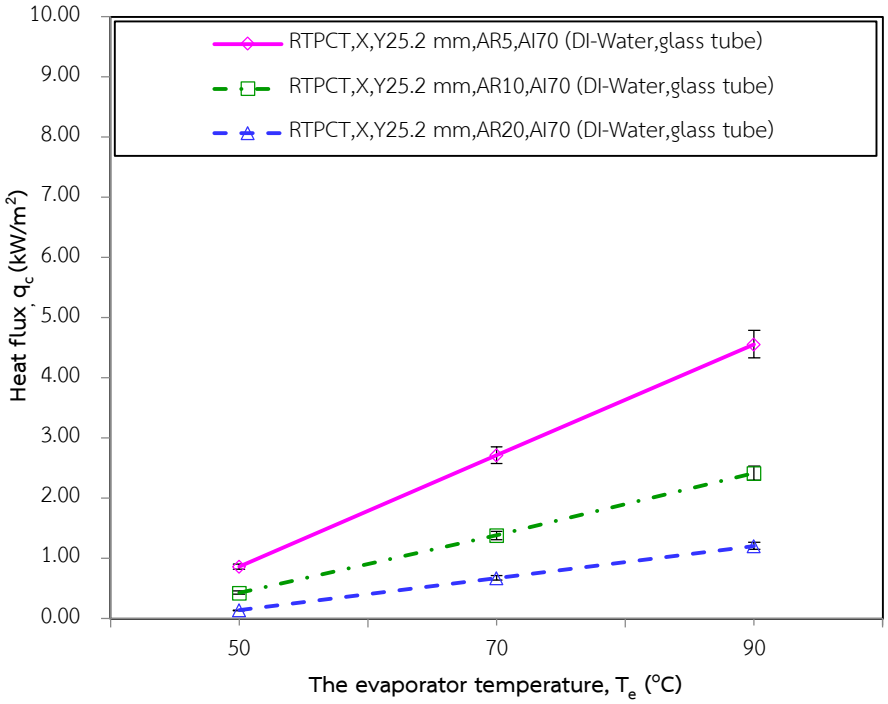
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
ไม่พบรูปแบบการไหล			ไม่พบรูปแบบการไหล				
						15.11	0.30
ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
9.87	0.024	0.1215	39.77	0.034	0.2591		
						42.07	0.83

ตาราง 4.78 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70° กับแนวระดับ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 สารทำงาน คือ เอทานอล (ต่อ)

ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C รูปแบบการไหลภายที่ส่วนทำระเหย มุมเอียง 70°							
การไหลแบบฟอง			การไหลแบบโพรง				
%	U_g (m/s)	L_v (m)	%	U_g (m/s)	L_v (m)	Q_e (W)	q_e (kW/m^2)
13.12	0.022	0.1243	44.56	0.031	0.3672		
						70.12	1.38

4.2 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและอัตราส่วนสนทัดต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

4.2.1 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ



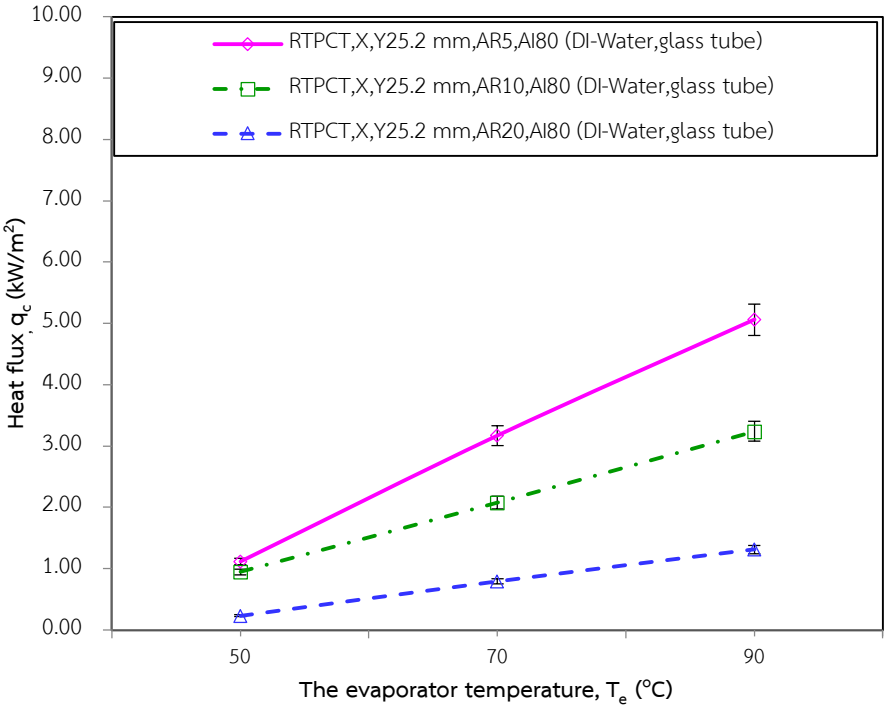
ภาพประกอบ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนควบแน่นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น [117] จะทำให้อัตราการเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการ

ไหลของไอสารทำงานเพิ่มขึ้น [118] ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ [119] เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัดต่างกัน อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.87 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.72 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 4.56 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.43 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.38 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.42 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.14 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.68 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.21 kW/m^2 ข้อมูลข้างต้นจะพบว่าเมื่ออัตราส่วนสนทัดของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เพิ่มขึ้น [120] อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มีแนวโน้มลดลง โดยอัตราส่วนสนทัดที่มากขึ้นทำให้มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น ซึ่งการเติมสารทำงานที่น้อยกว่า แม้จะเป็นการเติมสารทำงานใน อัตราการเติมสารทำงาน 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย เหมือนกันสารทำงานที่มีปริมาณน้อยจะสามารถเดือดได้เร็วทำให้ถ่ายเทความร้อนได้เร็ว [121] การใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) [122], [123] เป็นสารทำงาน ในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดี เนื่องจากน้ำปราศจากไอออน (DI) มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง และยังมีความสะอาดไม่มีสิ่งเจือปน ทำให้การเดือดและการควบแน่นเป็นไปอย่างสมบูรณ์ [99] การเอียงเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ การเอียงนี้สร้างสมดุลที่ดีระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ทำให้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) [119] สามารถไหลกลับสู่ส่วนทำระเหยได้อย่างราบรื่น ลดการสะสมของของเหลวในส่วนควบแน่น และส่งเสริมการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบได้อย่างต่อเนื่อง [124] ส่งผลให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพสูงและเสถียรภาพในการทำงานดีขึ้น [125] กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่น อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัด 10 และ 20 กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนทำระเหย อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย

70 ℃ และ 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบโพรง เมื่อพิจารณา อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20 รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ การไหลแบบแยกชั้น

4.2.2 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

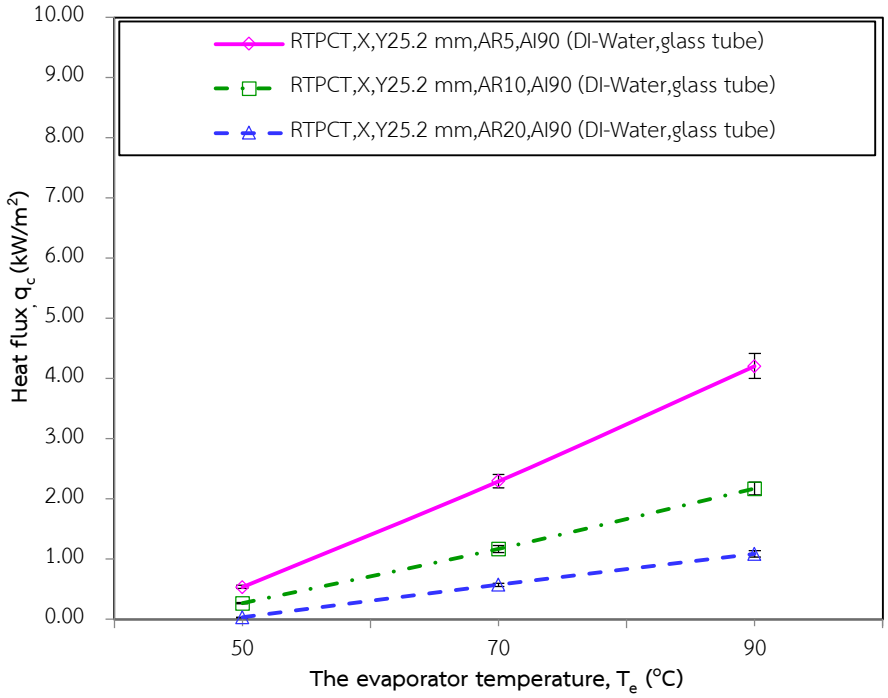


ภาพประกอบ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 80° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนควบแน่นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้น [126] ส่งผลให้อัตราการ

ไหลของไอสารทำงาน เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น [127] ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัดต่างกัน อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.12 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.17 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 5.06 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.65 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.61 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.67 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.23 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.79 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.31 kW/m^2 ข้อมูลข้างต้นจะพบว่า เมื่ออัตราส่วนสนทัดของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มีแนวโน้มลดลงโดยอัตราส่วนสนทัดที่มากขึ้นทำให้มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น [120] ซึ่งการเติมสารทำงานที่น้อยกว่า แม้จะเป็นการเติมสารทำงานใน อัตราการเติมสารทำงาน 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย เหมือนกันสารทำงานที่มีปริมาณน้อยจะสามารถเดือดได้เร็วทำให้ถ่ายเทความร้อนได้เร็ว [121, 128] การใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน ในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดี เพราะน้ำปราศจากไอออน (DI) มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง [129] และยังมีความสะอาดไม่มีสิ่งเจือปน ทำให้การเดือดและการควบแน่นเป็นไปอย่างสมบูรณ์ [130] การเอียงเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดี ทั้งนี้เพราะการเอียงทำให้สารทำงานไหลกลับสู่ส่วนทำระเหยได้ง่ายขึ้น ช่วยลดปัญหาการไหลย้อนกลับของสารทำงานที่เกิดขึ้นได้ดีกว่ามุมเอียงอื่นๆ [131] กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่น อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัด 10 และ 20 กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนทำระเหย อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบโพรง มากที่สุด สำหรับเงื่อนไข อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20 รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ การไหลแบบแยกชั้น

4.2.3 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ

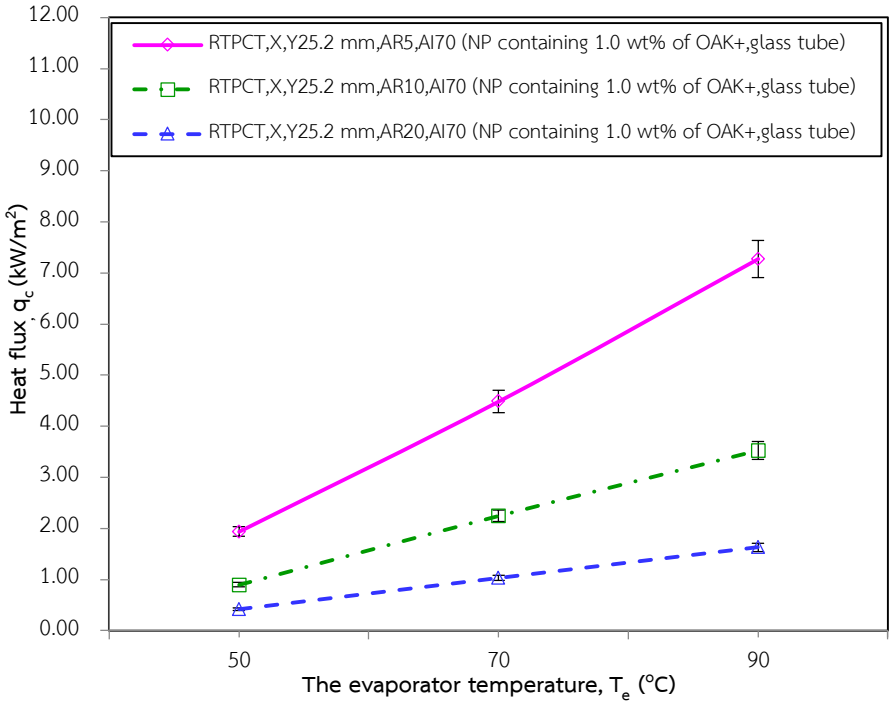


ภาพประกอบ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 90° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนควบแน่นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น [132] จะทำให้อัตราการเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้น [126] ส่งผลให้อัตราการไหลของไอสารทำงานเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ [133] เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัดต่างกัน อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการ

ถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.54 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.29 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 4.21 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.27 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.17 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.17 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.03 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.57 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.09 kW/m^2 เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนสนทัด AR มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนพื้นที่เฉลี่ย RTPCT ลดลง เมื่ออัตราส่วนสนทัด AR มีค่ามากขึ้นแสดงว่าเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) มีความกว้างมากขึ้นเมื่อเทียบกับความยาว ทำให้การไหลของไอสารทำงานในแนวตั้งมีแนวโน้มที่จะลดลง [134] ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลงตามไปด้วย สารทำงาน ปราศจากไอออน (DI) ที่เติมลงในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดี เพราะน้ำปราศจากไอออน (DI) มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง และยังมีความสะอาดไม่มีสิ่งเจือปน ทำให้การเดือดและการควบแน่นเป็นไปอย่างสมบูรณ์ [130] การเอียงเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ การเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้น [135] ระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ ส่งผลต่อการไหลอย่างต่อเนื่อง [123] กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่น อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม มากที่สุด เช่นเดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัด 10 และ 20 กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนทำระเหย อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบโพรง มากที่สุด สำหรับเงื่อนไข อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20 รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ การไหลแบบวงแหวน

4.2.4 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ



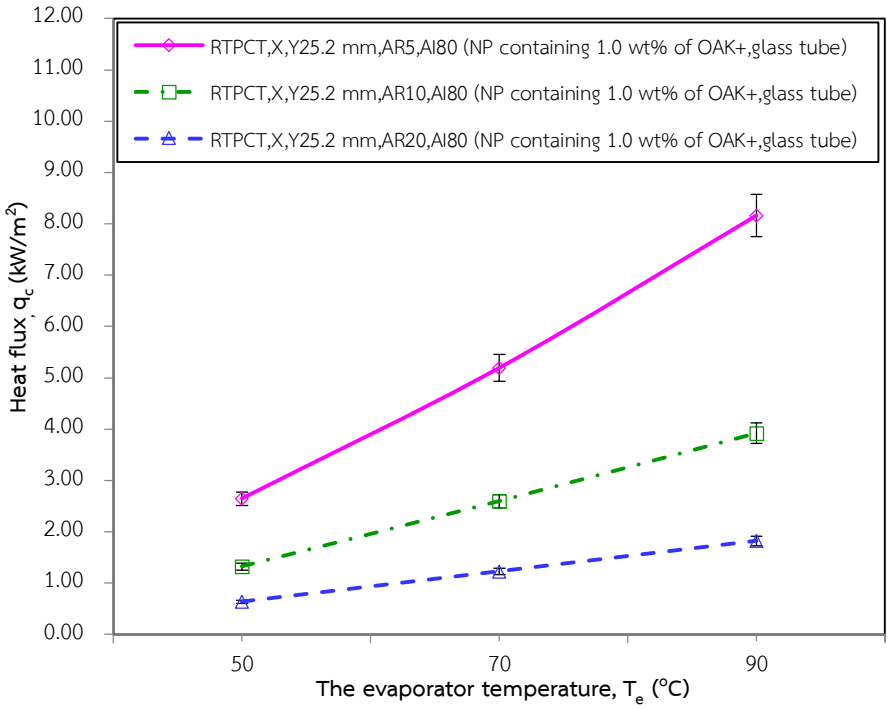
ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนควบแน่นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อ

อุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลของไอสารทำงานเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น [126] ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัดต่างกัน อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.94 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 4.49 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 7.27 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.90 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.24 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.52 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.42 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.03 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.63 kW/m^2 เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนสนทัด AR มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนพื้นที่เฉลี่ย RTPCT ลดลง เมื่ออัตราส่วนสนทัด AR มีค่ามากขึ้น แสดงว่าเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) มีความกว้างมากขึ้นเมื่อเทียบกับความยาว ทำให้การไหลของไอสารทำงานในแนวแกนท่อมีแนวโน้มที่จะลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลงตามไปด้วย [136] การใช้สารทำงานที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโน (NP) ที่ความเข้มข้น 0.5 wt% ซึ่งมีกรดโอเลอิก (OA) 1 wt% เป็นสารเคลือบผิว และโพแทสเซียมโอลีเอต (OAK$^+$) ความเข้มข้น 1 wt% เป็นสารลดแรงตึงผิว สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ได้การเติมอนุภาคนาโนจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสารทำงาน ขณะที่สารเคลือบผิวและสารลดแรงตึงผิวจะช่วยลดแรงตึงผิวของสารทำงาน ทำให้การไหลและการเปลี่ยนสถานะของสารทำงานเป็นไปได้ง่ายขึ้นการเอียงเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการวางในแนวตั้ง เนื่องจากการเอียงจะช่วยให้ของเหลวที่กลั่นตัวในส่วนควบแน่นไหลกลับลงสู่ส่วนทำระเหยได้ง่ายขึ้นด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของสารทำงานอย่างต่อเนื่อง [137] กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่น อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบผันผวน มากที่สุด สำหรับ อัตราส่วนสนทัด 10 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบหยด มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

(RTPCT) อัตราส่วนสนทัด 20 กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนทำระเหย อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบการไหลแบบโพรง มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) รวมถึงอัตราส่วนสนทัด 10 และ 20

4.2.5 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ



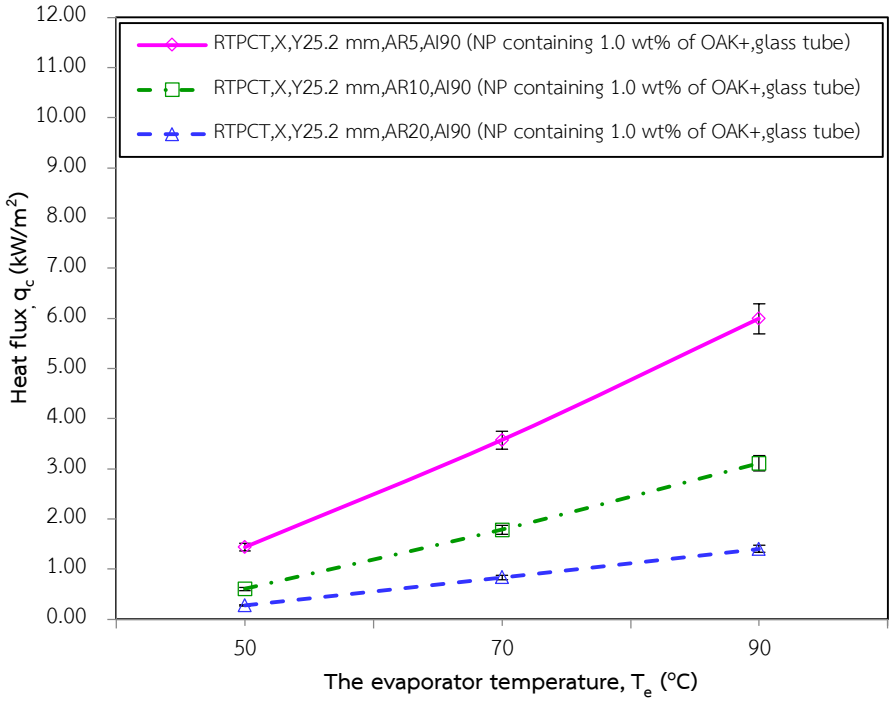
ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 80° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนควบแน่นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้น [126] ส่งผลให้อัตราการไหลของไอสารทำงานเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ [133] เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัดต่างกัน อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 2.65 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 5.19 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 8.16 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.32 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.60 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.92 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.64 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.23 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.82 kW/m^2 เมื่ออัตราส่วนสนทัดเพิ่มขึ้นจาก 10 และ 20 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง อาจเนื่องมาจาก เมื่อค่าอัตราส่วนสนทัดขนาดเล็กทำให้เกิดรูปแบบลักษณะการเดือดแบบแอ่ง เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง ในทางตรงกันข้ามเมื่อค่าอัตราส่วนสนทัดสูงขึ้นทำให้ลักษณะการเดือดภายในถูกจำกัด การเดือดอยู่ในช่วงแคบ ส่งผลให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ [138] อย่างไรก็ตาม เมื่อเติมสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโน (NP) ที่ความเข้มข้น 0.5 wt% ซึ่งมีกรดโอเลอิก (OA) 1 wt% เป็นสารเคลือบผิว และโพแทสเซียมโอลีเอต (OAK$^+$) ความเข้มข้น 1 wt% เป็นสารลดแรงตึงผิว ชัดเจนที่สุดว่า สามารถเพิ่มค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เพราะสารทำงานระดับอนุภาคนาโนมีค่าการนำความร้อนที่สูง ซึ่งด้วยขนาดอนุภาคที่เล็กจำนวนมาก ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการรับความร้อนมากขึ้น เมื่อได้รับความร้อนในส่วนทำระเหย ส่งผลให้ขนาดอนุภาคช่วยในการดูดซับความร้อนและช่วยให้สารทำงานของไหลที่เป็นฐานเดิมเดือดได้ดีขึ้น สามารถนำและพาความร้อนได้สูง [139] ส่งผลให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นกว่าเดิม ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดี เนื่องจากการเอียงจะช่วย

ให้ของเหลวที่กลั่นตัวในส่วนควบแน่นไหลย้อนกลับลงสู่ส่วนทำระเหยได้ง่ายขึ้นด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของสารทำงาน [140] กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่น อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 ℃ และ 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบผันผวน มากที่สุด สำหรับ อัตราส่วนสนทัด 10 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบหยด มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด 20 กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนทำระเหย อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 ℃ และ 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบการไหลแบบโพรง มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) พร้อมกับอัตราส่วนสนทัด 10 และ 20

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.2.6 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ



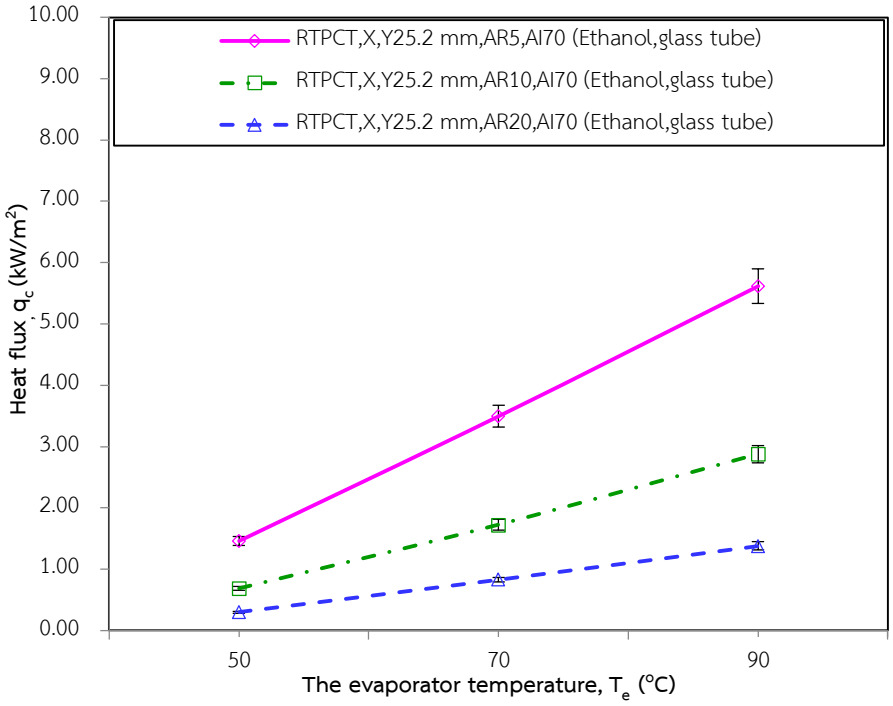
ภาพประกอบ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 90° กับแนวระดับ ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนควบแน่นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อ

อุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลของไอสารทำงานเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัดต่างกัน อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.44 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.58 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 5.99 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 10 มุมเอียง 90° ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.61 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.79 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.11 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 20 มุมเอียง 90° ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.28 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.84 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.41 kW/m^2 เมื่ออัตราส่วนสนทัดเพิ่มขึ้นจาก 10 และ 20 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนกลับลดลง อาจเนื่องมาจาก เมื่ออัตราส่วนสนทัดมีค่าน้อย จะส่งผลให้เกิดการเดือดแบบแอ่ง ซึ่งนำไปสู่อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง ในทางกลับกัน หากอัตราส่วนสนทัดเพิ่มขึ้นจะทำให้การเดือดถูกจำกัดอยู่ในพื้นที่แคบ ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนสนทัดจึงมีผลโดยตรงต่อลักษณะการเดือด [141] อย่างไรก็ตาม เมื่อเติมสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโน (NP) ที่ความเข้มข้น 0.5 wt% ซึ่งมีกรดโอเลอิก (OA) 1 wt% เป็นสารเคลือบผิว และโพแทสเซียมโอลีเอต (OAK^+) ความเข้มข้น 1 wt% เป็นสารลดแรงตึงผิว ชัดเจนที่สุดว่า สามารถเพิ่มค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) การเติม OAK^+ ลงในสารทำงานจะช่วยลดแรงตึงผิวของสารทำงาน ทำให้การเปลี่ยนสถานะของสารทำงานจากของเหลวเป็นไอและกลับสู่ของเหลวเป็นไปได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้การหมุนเวียนของสารทำงานในระบบเทอร์โมไซฟอนเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อแรงตึงผิวลดลง การไหลของสารทำงานจะดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารทำงานสามารถดูดซับและปลดปล่อยความร้อนได้ดีขึ้นการใช้ OAK^+ ร่วมกับ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโน (NP) จะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสารทำงานได้อีกด้วย ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ การเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิว [142] ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ สารทำงานทั้งหมดในระบบจะหมุนเวียนใช้ซ้ำไป

เรื่อยๆ [143] กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่น อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบผันผวนมากที่สุด สำหรับ อัตราส่วนสนทัด 10 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบหยดมากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด 20 กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนทำระเหย อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบโพรง มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ซึ่งมี อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20

4.2.7 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 ใช้ เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70° กับแนวระดับ

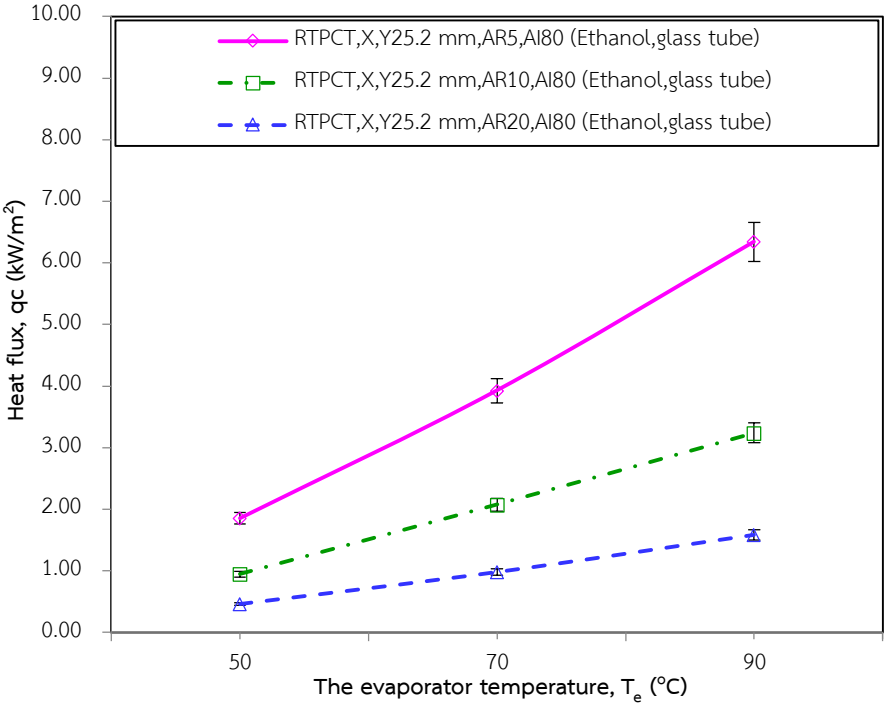


ภาพประกอบ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนควบแน่นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลของไอสารทำงานเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัดต่างกัน อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.46 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.49 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 5.61 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C กับแนวระดับ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.69 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.72 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.87 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C กับแนวระดับ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.30 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.83 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.38 kW/m^2 เมื่ออัตราส่วนสนทัดเพิ่มขึ้นจาก 10 และ 20 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนกลับลดลง อาจเนื่องมาจาก เมื่อค่าอัตราส่วนสนทัดขนาดเล็กทำให้เกิดรูปแบบลักษณะการเดือดแบบแอ่ง ทำให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง ในทางตรงกันข้าม เมื่อค่าอัตราส่วนสนทัดสูงขึ้นทำให้ลักษณะการเดือดภายในถูกจำกัด การเดือดอยู่ในช่วงแคบ ส่งผลให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ สารทำงานเอทานอล มีคุณสมบัติที่เหมาะสม ได้แก่ ค่าความตึงผิวต่ำช่วยให้การเปลี่ยนสถานะระหว่างของเหลวและไอเป็นไปได้ง่าย [144] ภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ความร้อนแฝงการเดือดสูง ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้มากความหนืดต่ำ [145] ช่วยให้การไหลของสารทำงานในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เป็นไปได้ดี และความเป็นกรดต่ำ ช่วยลดการกัดกร่อนของวัสดุภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) สามารถเพิ่มค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดี เนื่องจากการเอียงจะช่วยให้ของเหลวที่กลั่นตัวในส่วนควบแน่นไหลย้อนกลับลงสู่ส่วนทำระเหยได้ง่ายขึ้นด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของสารทำงานอย่างสม่ำเสมอ [146] กรณีรูปแบบ

การไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่น อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 ℃ และ 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20 กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนทำระเหย อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 ℃ และ 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบโพรง มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) พร้อมด้วย อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20

4.2.8 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 ใช้ เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 80° กับแนวระดับ



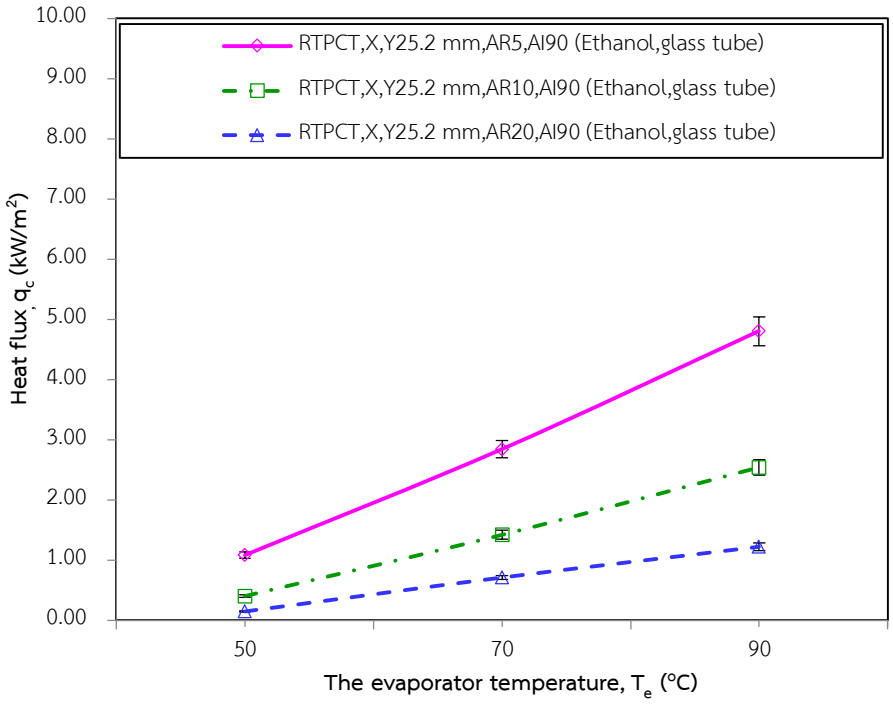
ภาพประกอบ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 80° กับแนวระดับ ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนควบแน่นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การ

ทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลของไอสารทำงานเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัดต่างกัน อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.85 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.93 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 6.34 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.95 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.08 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.24 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.46 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.98 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.59 kW/m^2 เมื่ออัตราส่วนสนทัดเพิ่มขึ้นจาก 10 และ 20 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนกลับลดลง อาจเนื่องมาจาก เมื่อค่าอัตราส่วนสนทัดขนาดเล็กทำให้เกิดรูปแบบลักษณะการเดือดแบบแอ่ง ทำให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง ในทางตรงกันข้าม เมื่อค่าอัตราส่วนสนทัดสูงขึ้นทำให้ลักษณะการเดือดภายในถูกจำกัด การเดือดอยู่ในช่วงแคบ ส่งผลให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ สารทำงานเอทานอล มีคุณสมบัติที่เหมาะสม ได้แก่ ค่าความตึงผิวต่ำช่วยให้การเปลี่ยนสถานะระหว่างของเหลวและไอเป็นไปได้ง่ายภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ความร้อนแฝงการเดือดสูง ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้มากความหนืดต่ำ [145] ช่วยให้การไหลของสารทำงานในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เป็นไปได้ดี และความเป็นกรดต่ำช่วยลดการกัดกร่อนของวัสดุภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) สามารถเพิ่มค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดี เนื่องจากการเอียงจะช่วยให้ของเหลวที่กลั่นตัวในส่วนควบแน่นไหลย้อนกลับลงสู่ส่วนทำระเหยได้ง่ายขึ้นด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของสารทำงานเรื่อยไป [147] กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่นอุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม

(RTPCT) อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20 กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนทำระเหย อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 ℃ และ 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบโพรง มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) โดยมี อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20

4.2.9 พิจารณาเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 ใช้ เอทานอล เป็นสารทำงาน มุมเอียง 90° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 มุมเอียง 90° กับแนวระดับ ใช้เอทานอล เป็นสารทำงาน

จากภาพประกอบ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของส่วนควบแน่นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อ

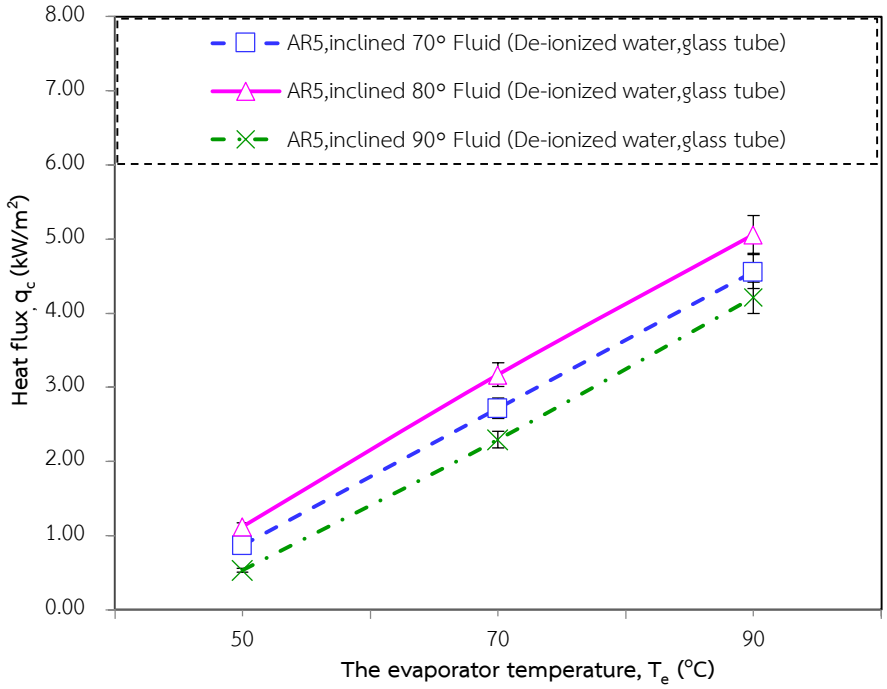
อุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเดือดของสารทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลของไอสารทำงานเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มีอัตราส่วนสนทัดต่างกัน อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.09 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.84 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 4.80 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.41 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.42 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.54 kW/m^2 อัตราส่วนสนทัด 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.15 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.71 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.22 kW/m^2 เมื่ออัตราส่วนสนทัดเพิ่มขึ้นจาก 10 และ 20 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนกลับลดลง อาจเนื่องมาจาก เมื่อค่าอัตราส่วนสนทัดขนาดเล็กทำให้เกิดรูปแบบลักษณะการเดือดแบบแอ่ง ทำให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง ในทางตรงกันข้าม เมื่อค่าอัตราส่วนสนทัดสูงขึ้นทำให้ลักษณะการเดือดภายในถูกจำกัด การเดือดอยู่ในช่วงแคบ ส่งผลให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ [148] สารทำงาน เอทานอล มีคุณสมบัติที่เหมาะสม ได้แก่ ค่าความตึงผิวต่ำช่วยให้การเปลี่ยนสถานะระหว่างของเหลวและไอเป็นไปได้ง่าย ภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ความร้อนแฝงการเดือดสูง ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้มากความหนืดต่ำ [145] ช่วยให้การไหลของสารทำงานในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เป็นไปได้ดี และความเป็นกรดต่ำ ช่วยลดการกัดกร่อนของวัสดุภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) สามารถเพิ่มค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เมื่อวางเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ในแนวตั้งฉากกับพื้น สารทำงานภายในจะเกิดการเคลื่อนที่แบบปะทะกันระหว่างส่วนที่เป็นไอและของเหลวปรากฏการณ์นี้ก่อให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ ที่ผิวด้านในของอุปกรณ์ ซึ่งเป็นผลมาจากการควบแน่นของไอกลายเป็นของเหลวการเคลื่อนที่สวนทางกันอย่างต่อเนื่องระหว่างของเหลวที่ไหลลงและไอที่ลอยขึ้น ทำให้เกิดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างสองเฟสนี้ผลลัพธ์ คือ การเพิ่มขึ้นของความต้านทานการไหลภายในระบบ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม [149] ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการทำงานของอุปกรณ์ ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อน

และการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบ กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนควบแน่น อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 ℃ และ 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20 กรณีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในของส่วนทำระเหย อุณหภูมิของน้ำที่ส่วนทำระเหย 70 ℃ และ 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด 5 รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเกิดรูปแบบ การไหลแบบโพรง มากที่สุด เช่น เดียวกับท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ประกอบด้วย อัตราส่วนสนทัด 10 และ 20

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.3 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

4.3.1 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวส่วนควบแน่น 126 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ



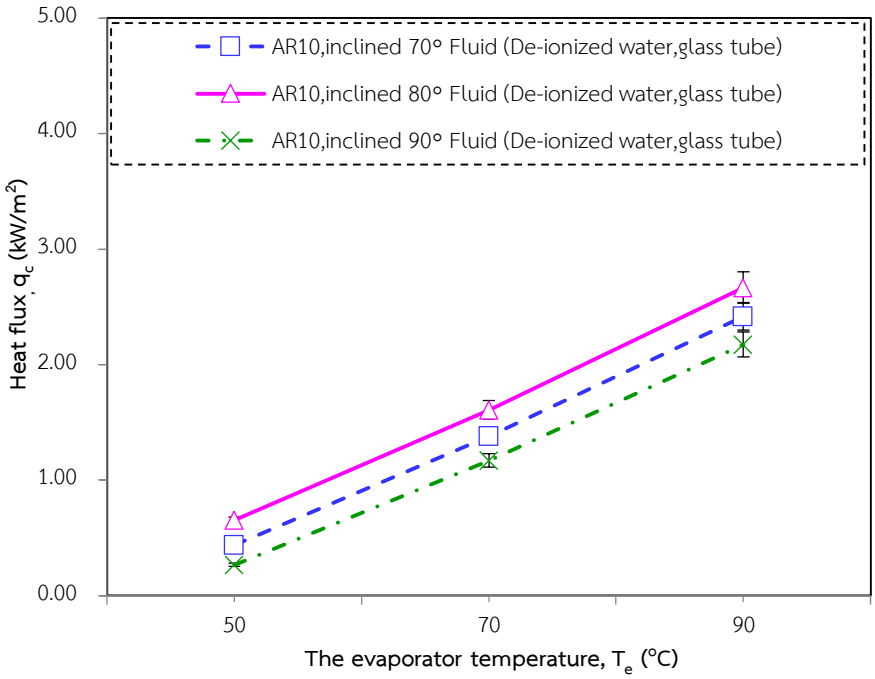
ภาพประกอบ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ

จากภาพประกอบ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C สารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยมากขึ้นจะ

[150] ส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นแต่หลังจากที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยลดลงทำให้สารทำงานได้รับความร้อนสะสมปริมาณน้อยลง อัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยลง เช่นกัน [151] ทำการทดสอบความยาวของส่วนควบแน่น 126 mm อัตราส่วนสนทัด AR 5 ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เป็นมุมเอียงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้น้อยที่สุดเพราะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้น [152] ระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ สังเกตว่าการเสียดทานที่เพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ลดลงเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) [153], [154] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.54 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.29 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 4.21 kW/m^2 ถัดมา ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ มุมนี้สร้างความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้สารทำงานไหลเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมของของเหลวในบริเวณควบแน่น และเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและความเสถียรในการทำงานของระบบระบายความร้อน [155] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.12 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.17 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 5.06 kW/m^2 และที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ทำให้ไอและส่วนที่เคลื่อนที่สวนทางกันมีความเสียดทานน้อยมาก เนื่องจากแรงโน้มถ่วงช่วยแยกไอและของเหลวออกจากกัน ลดการปะทะกันของสองสถานะ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.87 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.72 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 4.56 kW/m^2

สรุปได้ว่า อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ที่มุมเอียง 80° มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด 5.06 (kW/m²)

4.3.2 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความยาวส่วนควบแน่น 252 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ

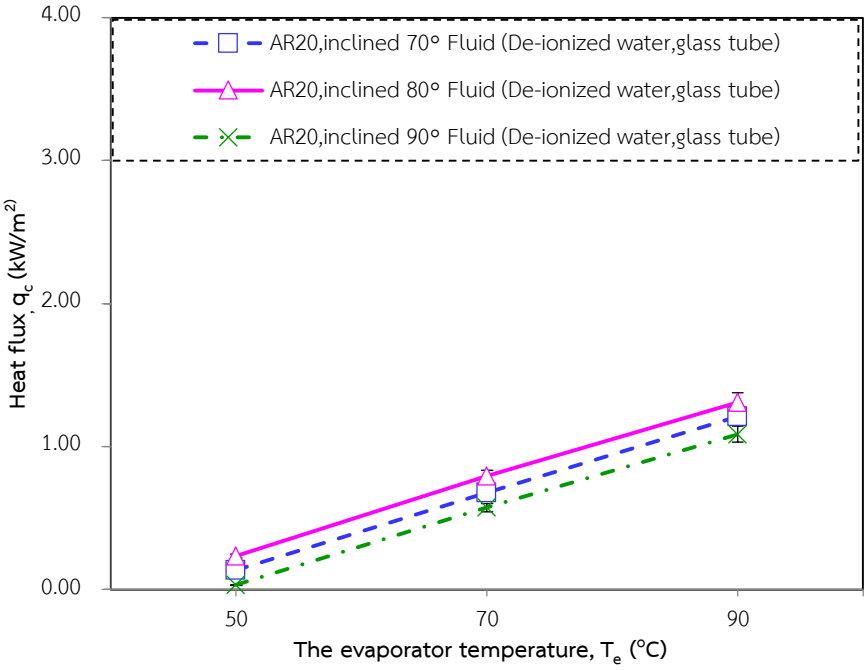
จากภาพประกอบ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C สารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้น แต่หลังจากที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยลดลงทำให้สารทำงานได้รับความร้อนสะสมปริมาณน้อยลงอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยลงเช่นกัน [156] ทำการทดสอบความยาวของส่วนควบแน่น 252 mm

อัตราส่วนสนทัด AR 10 ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เป็นมุมเอียงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้น้อยที่สุดเพราะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมเกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ [157] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.27 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.17 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.17 kW/m^2 ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ สารทำงานเปลี่ยนสถานะจากของเหลวทำให้ไอเคลื่อนที่สวนทางกันมีความเสียดทานน้อยเนื่องจากแรงโน้มถ่วงช่วยแยกไอและของเหลวออกจากกัน ลดการปะทะกันของสองสถานะ เฟสของเหลวและเฟสไอ [158] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.65 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.61 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.67 kW/m^2 ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ สร้างความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้สารทำงานไหลเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมของของเหลวในบริเวณควบแน่น และเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและความเสถียรในการทำงานของระบบระบายความร้อน [159] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.43 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.38 kW/m^2 และ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.42 kW/m^2

สรุปได้ว่า อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ที่มุมเอียง 80° มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด 2.67 (kW/m^2)

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

4.3.3 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความยาวส่วนควบแน่น 504 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ

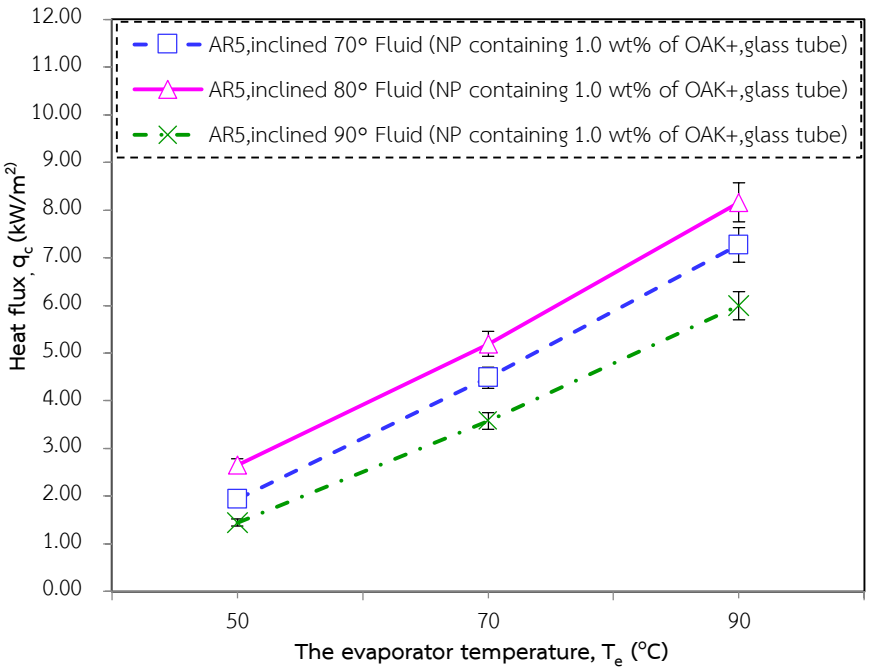
จากภาพประกอบ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C สารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้น แต่หลังจากที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยลดลงทำให้สารทำงานได้รับความร้อนสะสมปริมาณน้อยลงอัตรา

การถ่ายเทความร้อนน้อยลง [160] เช่นกัน ทำการทดสอบความยาวของส่วนควบแน่น 504 mm อัตราส่วนสนทัด AR 20 ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เป็นมุมเอียงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้น้อยที่สุดเพราะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิว [161] ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.03 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.57 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.09 kW/m^2 ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ มุมเอียงนี้สร้างความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้สารทำงานไหลเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมของของเหลวในบริเวณควบแน่น และเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและความเสถียรในการทำงานของระบบระบายความร้อน [162] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.23 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.79 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.31 kW/m^2 ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ทำให้ไอเคลื่อนที่สวนทางกันมีความเสียดทานน้อยเนื่องจากแรงโน้มถ่วงช่วยแยกไอและของเหลวออกจากกัน ลดการปะทะกันของสองสถานะ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.14 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.68 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.21 kW/m^2

สรุปได้ว่า อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ที่มุมเอียง 80° มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด 1.31 (kW/m^2)

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

4.3.4 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวส่วนควบแน่น 126 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ



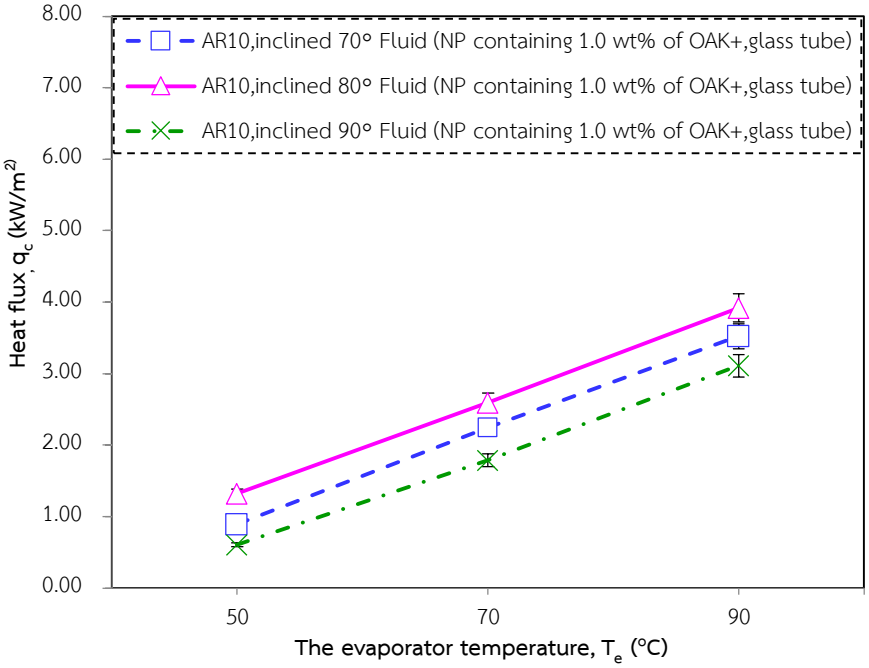
ภาพประกอบ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ

จากภาพประกอบ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอน

พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C สารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นแต่หลังจากที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยลดลงทำให้สารทำงานได้รับความร้อนสะสมปริมาณน้อยลงอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยลง เช่นกัน ทำการทดสอบความยาวของส่วนควบแน่น 126 mm อัตราส่วนสนทัด AR 5 ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เป็นมุมเอียงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้น้อยที่สุดเพราะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิว [137] ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.44 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.58 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 5.99 kW/m^2 ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ มุมเอียงนี้สร้างความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้สารทำงานไหลเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมของของเหลวในบริเวณส่วนควบแน่น และเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและความเสถียรในการทำงานของระบบระบายความร้อน [163] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 2.65 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 5.19 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 8.16 kW/m^2 ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ทำให้ไอเคลื่อนที่สวนทางกันมีความเสียดทานน้อย เนื่องจากแรงโน้มถ่วงช่วยแยกไอและของเหลวออกจากกัน ลดการปะทะกันของสองสถานะ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.94 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 4.49 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 7.27 kW/m^2

สรุปได้ว่า อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ที่มุมเอียง 80° มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด 8.16 (kW/m^2)

4.3.5 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความยาวส่วนควบแน่น 252 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ



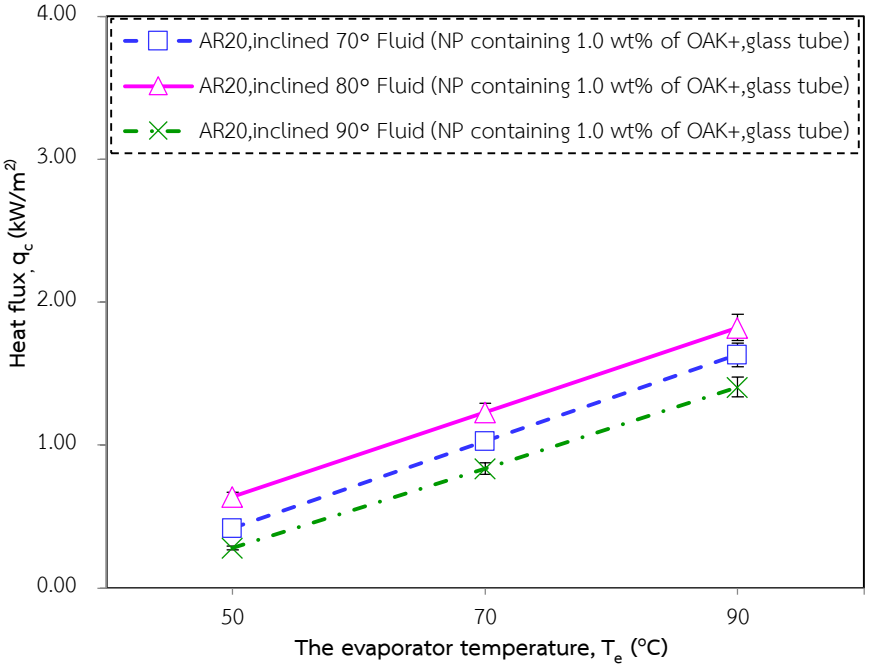
ภาพประกอบ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ

จากภาพประกอบ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอน

พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C สารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นแต่หลังจากที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยลดลงทำให้สารทำงานได้รับความร้อนสะสมปริมาณน้อยลงอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยลง เช่นกัน ทำการทดสอบความยาวของส่วนควบแน่น 252 mm อัตราส่วนสนทัด AR 10 ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เป็นมุมเอียงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้น้อยที่สุดเพราะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมเกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ [164] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.61 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.79 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.11 kW/m^2 ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ ทำให้ไอเคลื่อนที่สวนทางกันมีความเสียดทานน้อยเนื่องจากแรงโน้มถ่วงช่วยแยกไอและของเหลวออกจากกัน ลดการปะทะกันของสองสถานะ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.32 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.60 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.92 kW/m^2 ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ มุมเอียงนี้สร้างความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้สารทำงานไหลเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมของของเหลวในบริเวณควบแน่น และเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและความเสถียรในการทำงานของระบบระบายความร้อน [140] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.90 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.24 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.52 kW/m^2

สรุปได้ว่า อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ที่มุมเอียง 80° มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด 3.92 (kW/m^2)

4.3.6 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความยาวส่วนควบแน่น 504 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ



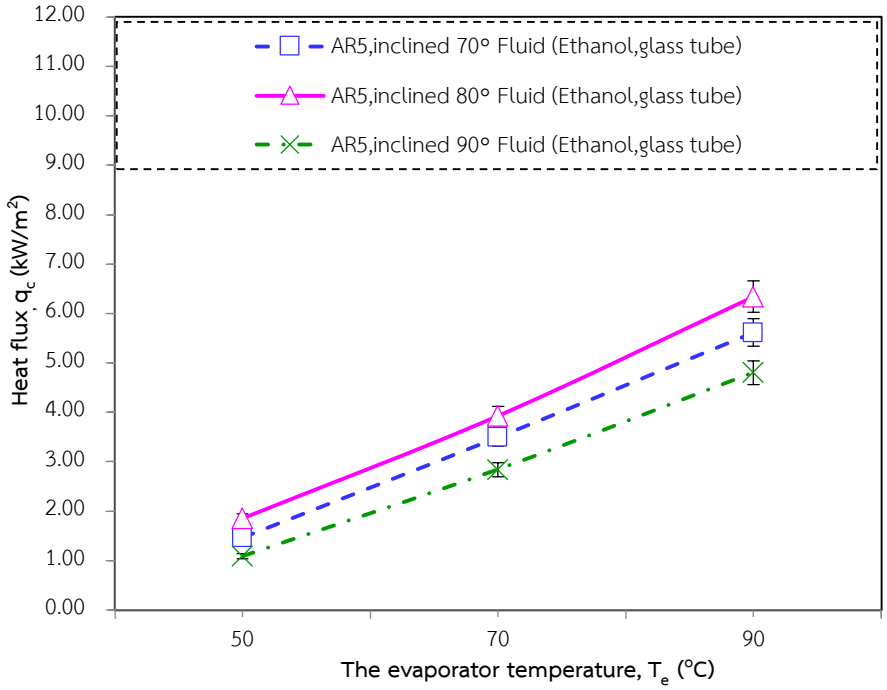
ภาพประกอบ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ

จากภาพประกอบ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอน

พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C สารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นแต่หลังจากที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยลดลงทำให้สารทำงานได้รับความร้อนสะสมปริมาณน้อยลงอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยลง เช่นกัน ทำการทดสอบความยาวของส่วนควบแน่น 504 mm อัตราส่วนสนทัด AR 20 ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เป็นมุมเอียงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้น้อยที่สุดเพราะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมเกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.28 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.84 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.41 kW/m^2 ที่มุมเอียงที่ 80° จากแนวระดับ ช่วยสร้างสมดุลที่เหมาะสมระหว่างแรงโน้มถ่วงกับแรงตึงผิว ซึ่งเอื้อต่อการไหลเวียนของสารทำงานภายในระบบอย่างราบรื่น ส่งผลให้ของเหลวไม่สะสมในบริเวณคอนเดนเซอร์มากเกินไป และเพิ่มประสิทธิภาพการหมุนเวียนภายในวัฏจักรความร้อนโดยรวม ทั้งยังช่วยเสริมความมั่นคงในการทำงานของระบบถ่ายเทความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [165] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.64 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.23 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.82 kW/m^2 ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ทำให้ไอและส่วนที่เคลื่อนที่สวนทางกันมีความเสียดทานน้อย เนื่องจากแรงโน้มถ่วงช่วยแยกไอและของเหลวออกจากกัน ลดการปะทะกันของสองสถานะ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.42 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.03 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.63 kW/m^2

สรุปได้ว่า อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ที่มุมเอียง 80° มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด 1.82 (kW/m^2)

4.3.7 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน เอทานอล อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวส่วนควบแน่น 126 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ

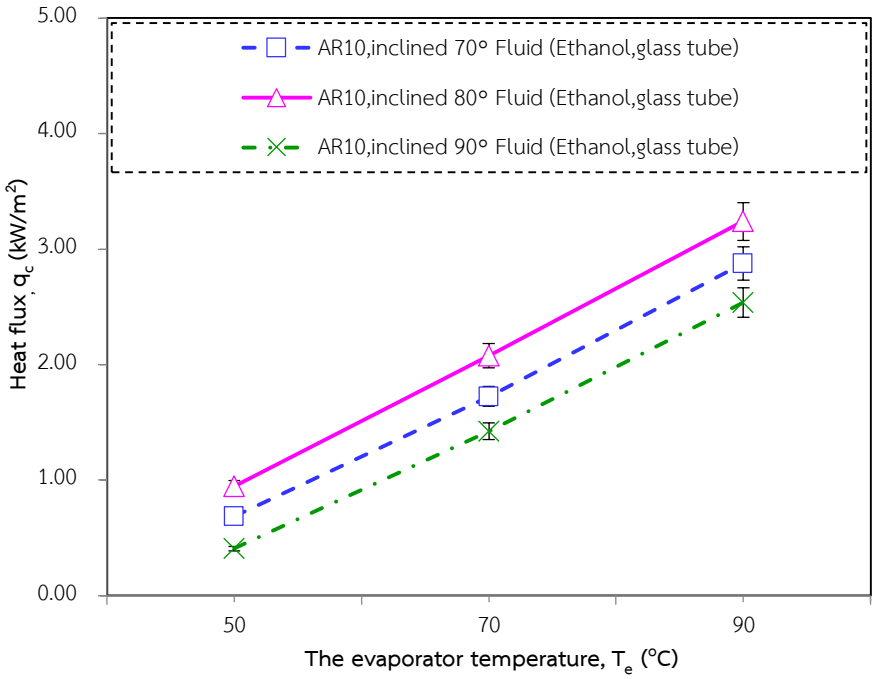
จากภาพประกอบ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C สารทำงานเอทานอล มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นแต่หลังจากที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยลดลงทำให้สารทำงานได้รับความร้อนสะสมปริมาณน้อยลงอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยลง เช่นกัน ทำการทดสอบความยาวของส่วนควบแน่น 126 mm อัตราส่วนสนทัด AR

5 ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เป็นมุมเอียงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้น้อยที่สุด เพราะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.09 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.84 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 4.48 kW/m^2 ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ มุมเอียงนี้สร้างความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้สารทำงานไหลเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมของของเหลวในบริเวณควบแน่น และเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและความเสถียรในการทำงานของระบบระบายความร้อน [166] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.85 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.93 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 6.34 kW/m^2 ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ทำให้ไอและส่วนที่เคลื่อนที่สวนทางกันมีความเสียดทานน้อย เนื่องจากแรงโน้มถ่วงช่วยแยกไอและของเหลวออกจากกัน ลดการปะทะกันของสองสถานะ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.46 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.49 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 5.61 kW/m^2

สรุปได้ว่า ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ อัตราส่วนสนทัด AR 5 ที่มุมเอียง 80° มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด 6.34 (kW/m^2)

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

4.3.5 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน เอทานอล อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความยาวส่วนควบแน่น 252 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ

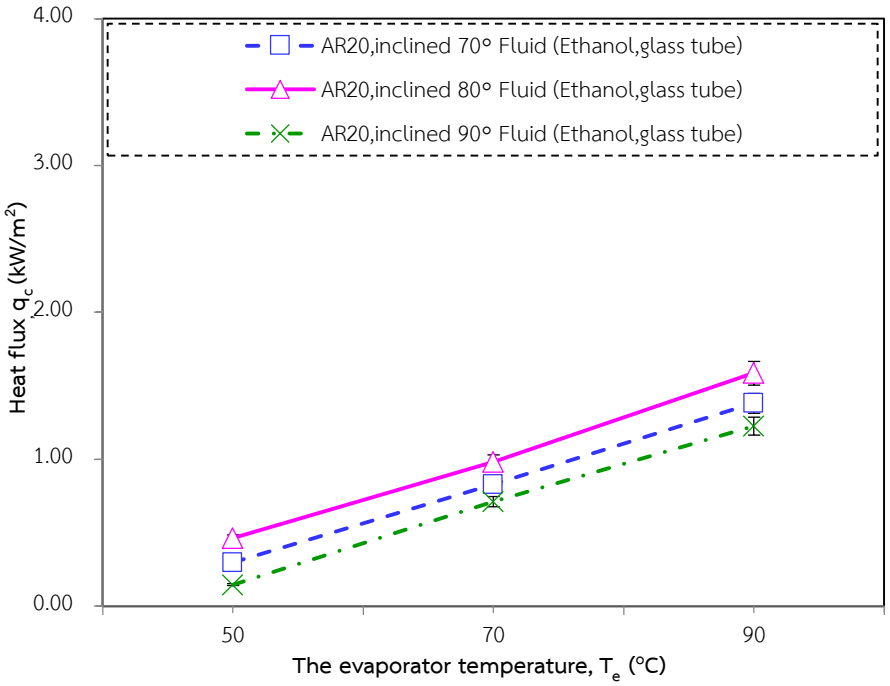
จากภาพประกอบ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C สารทำงานเอทานอล มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นแต่หลังจากที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยลดลงทำให้สารทำงานได้รับความร้อนสะสมปริมาณน้อยลงอัตรา การถ่ายเทความร้อนน้อยลง เช่นกัน ทำการทดสอบความยาวของส่วนควบแน่น 252 mm อัตราส่วนสนทัด AR

10 ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เป็นมุมเอียงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้น้อยที่สุด เพราะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิว ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.41 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.42 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.54 kW/m^2 ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ มุมเอียงนี้สร้างความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้สารทำงานไหลเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมของของเหลวในบริเวณส่วนควบแน่น และเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและความเสถียรในการทำงานของระบบระบายความร้อน [167] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.95 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.08 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.24 kW/m^2 ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ทำให้ไอและส่วนที่เคลื่อนที่สวนทางกันมีความเสียดทานน้อย เนื่องจากแรงโน้มถ่วงช่วยแยกไอและของเหลวออกจากกัน ลดการปะทะกันของสองสถานะ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.69 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.72 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.87 kW/m^2

สรุปได้ว่า อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ที่มุมเอียง 80° มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด 3.24 (kW/m^2)

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

4.3.6 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน เอทานอล อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความยาวส่วนควบแน่น 504 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน มุมเอียง 70°, 80° และ 90° กับแนวระดับ

จากภาพประกอบ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การทดลองพบว่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C สารทำงานเอทานอล มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหยมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นแต่หลังจากที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยลดลงทำให้สารทำงานได้รับความร้อนสะสมปริมาณน้อยลงอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยลง เช่นกัน ทำการทดสอบความยาวของส่วนควบแน่น 504 mm อัตราส่วนสนทัด AR

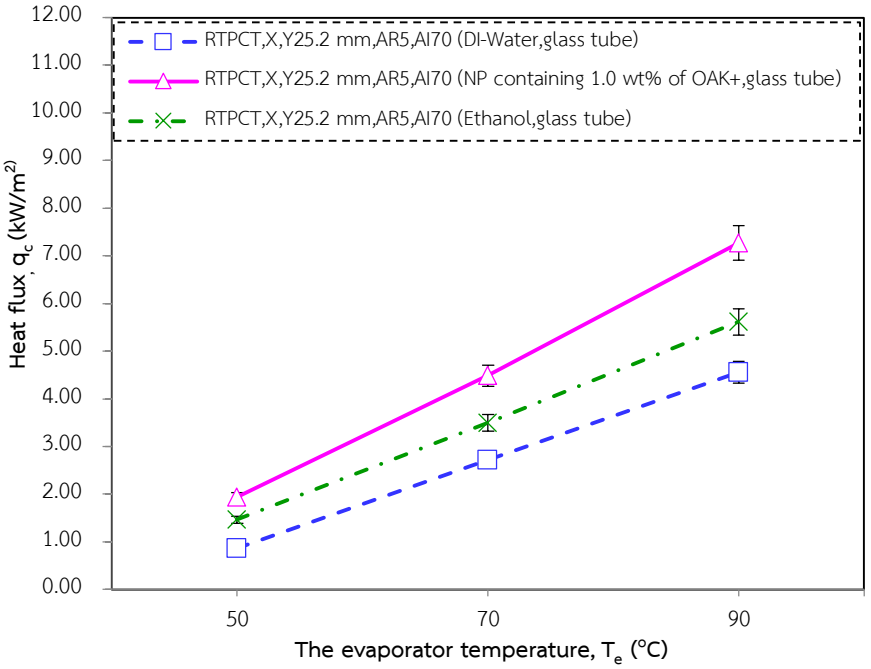
20 ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ เป็นมุมเอียงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้น้อยที่สุด เพราะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมเกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.15 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.71 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.22 kW/m^2 ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ มุมเอียงนี้สร้างความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้สารทำงานไหลเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมของของเหลวในบริเวณควบแน่น และเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของสารทำงานภายในระบบ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและความเสถียรในการทำงานของระบบระบายความร้อน [168] ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.46 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.98 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.59 kW/m^2 ที่มุมเอียง 70° กับแนวระดับ ทำให้ไอเคลื่อนที่สวนทางกันมีความเสียดทานน้อย เนื่องจากแรงโน้มถ่วงช่วยแยกไอและของเหลวออกจากกัน ลดการปะทะกันของสองสถานะ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.30 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.83 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.38 kW/m^2

สรุปได้ว่า อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 ℃ ที่มุมเอียง 80° มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด 1.59 (kW/m²)

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

4.4 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

4.4.1 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวส่วนควบแน่น 126 mm มุมเอียง 70° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.19 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 มุมเอียง 70°

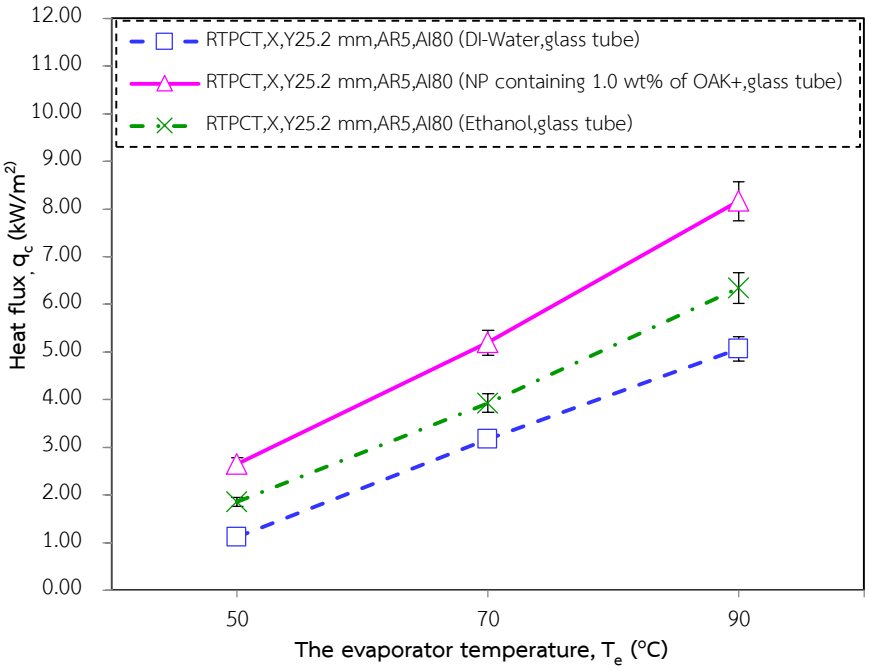
จากภาพประกอบ 4.19 แสดงผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวของส่วนควบแน่น 126 mm มีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน คือ เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่มุมเอียง 70° เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เมื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ได้รับความร้อนของเหลวภายในกลายเป็นฟองไอและรวมตัวกันเป็นก้อนไอเมื่อได้รับความร้อนสะสมถึงจุดๆ หนึ่งก้อนไอจะเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและควบแน่นกับเป็นของเหลวเคลื่อนที่ลงโดยมีแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่ลงจะมีก้อนไอที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเคลื่อนที่ขึ้น มุมเอียง 70° กับแนวระดับ นี้ส่วนที่เป็นไอและส่วนที่เคลื่อนที่สวนทางกันเกิดความเสียดทานน้อยมาก การทดลองพบว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.87 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.72 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 4.56 kW/m^2 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK$^+$) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีแนวโน้มสูงตามอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอลที่มุมเอียงที่เท่ากัน ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.94 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 4.49 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 7.27 kW/m^2 เพราะคุณลักษณะทั่วไปของเงินมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า ความสามารถในการนำความร้อนได้ดีของเงินเกิดจากโครงสร้างอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระในโลหะ โดยอะตอมของเงินมีการเรียงตัวแบบชิดแน่น ทำให้โมเลกุลสามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [75] นอกจากนี้ เงินยังมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากที่สามารถพาความร้อนได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดปริมาณฟองไอที่มากเดือดได้เร็ว สามารถนำความร้อนไปถ่ายเทความร้อนได้มาก สารทำงาน เอทานอล ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.46 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.49 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 5.61 kW/m^2

ดังนั้นสรุปได้ว่า สารทำงานมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด AR 5 มุมเอียง 70° สาร

ทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) สามารถถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าสารทำงานเอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI)

4.4.2 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวส่วนควบแน่น 126 mm มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

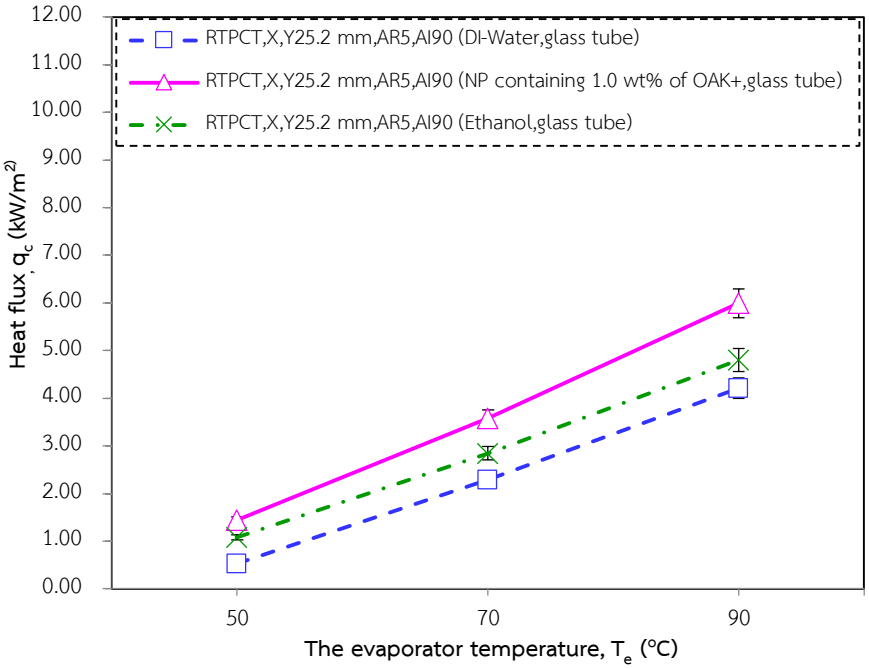


ภาพประกอบ 4.20 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 มุมเอียง 80°

จากภาพประกอบ 4.20 แสดงผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวของส่วนควบแน่น 126 mm มีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่มุมเอียง 80° เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เมื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ได้รับความร้อนของเหลวภายในกลายเป็นฟองไอและรวมตัวกันเป็นก้อนไอเมื่อได้รับความร้อนสะสมถึงจุด ๆ หนึ่งก้อนไอจะเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและควบแน่นกับเป็นของเหลวเคลื่อนที่ลงโดยมีแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่ลงจะมีก้อนไอที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเคลื่อนที่ขึ้น [169] มุมเอียง 80° กับแนวระดับ นี้ส่วนที่เป็นไอและส่วนที่เคลื่อนที่สวนทางกันเกิดความเสียดทานน้อยมาก จากการทดลองพบว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.12 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.17 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 5.06 kW/m^2 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีแนวโน้มสูงตามอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล ที่มุมเอียงที่เท่ากัน ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 2.65 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 5.19 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 8.16 kW/m^2 เพราะคุณลักษณะทั่วไปของเงินมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า ความสามารถในการนำความร้อนได้ดีของเงินเกิดจากโครงสร้างอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระในโลหะ โดยอะตอมของเงินมีการเรียงตัวแบบชิดแน่น ทำให้โมเลกุลสามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [75] นอกจากนี้ เงินยังมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากที่สามารถพาความร้อนได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดปริมาณฟองไอที่มากเดือดได้เร็วสามารถนำความร้อนไปถ่ายเทความร้อนได้มาก สารทำงาน เอทานอล ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.85 kW/m^2 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.93 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 6.34 kW/m^2

ดังนั้นสรุปได้ว่า สารทำงานมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด AR 5 มุมเอียง 80° สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) สามารถถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากกว่า สารทำงานเอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI)

4.4.3 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวส่วนควบแน่น 126 mm มุมเอียง 90° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.21 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 มุมเอียง 90°

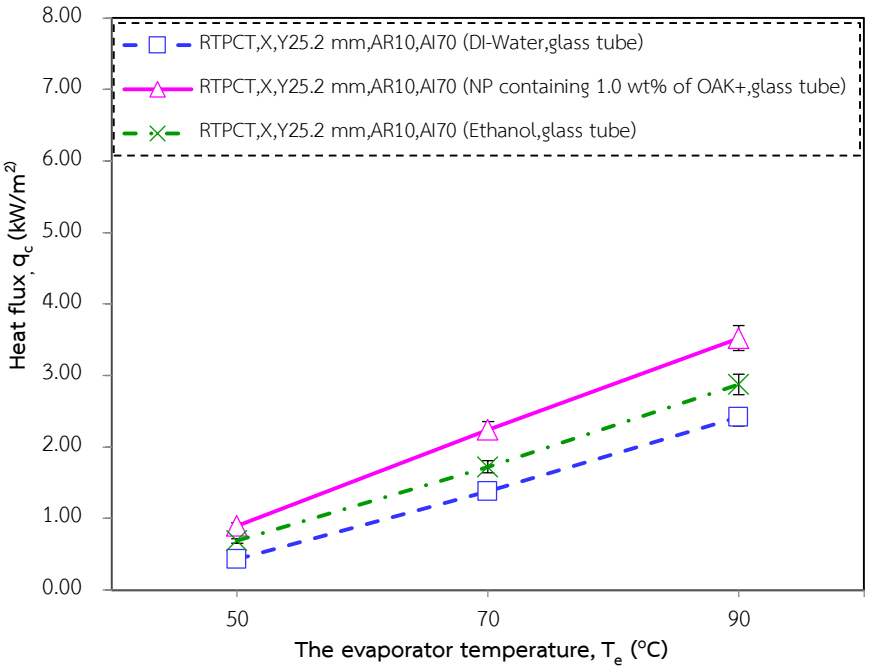
จากภาพประกอบ 4.21 แสดงผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวของส่วนควบแน่น 126 mm มีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่มุมเอียง 90° เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เมื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ได้รับความร้อนของเหลวภายในกลายเป็นฟองไอและรวมตัวกันเป็นก้อนไอเมื่อได้รับความร้อนสะสมถึงจุดๆหนึ่งก้อนไอจะเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและควบแน่นกับเป็นของเหลวเคลื่อนที่ลงโดยมีแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่ลงจะมีก้อนไอที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเคลื่อนที่ขึ้น [170] มุมเอียง 90° กับแนวระดับ การเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิว [171] ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ซึ่งเกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ การทดลองพบว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.54 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.29 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 4.21 kW/m^2 สารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK$^+$) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีแนวโน้มสูงตามอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล ที่มุมเอียงที่เท่ากัน ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.44 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 3.58 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 5.99 kW/m^2 อาจเป็นเพราะคุณลักษณะทั่วไปของเงินมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่าความสามารถในการนำความร้อนได้ดีของเงินเกิดจากโครงสร้างอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระในโลหะโดยอะตอมของเงินมีการเรียงตัวแบบชิดแน่น ทำให้โมเลกุลสามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [75] นอกจากนี้เงินยังมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากที่สามารถพาความร้อนได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดปริมาณฟองไอที่มากเดือดได้เร็ว สามารถนำความร้อนไปถ่ายเทความร้อนได้มาก [172] สารทำงาน เอทานอล ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.09 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้

อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.84 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 4.80 kW/m^2

ดังนั้นสรุปได้ว่า สารทำงานมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด AR 5 มุมเอียง 90° สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) สามารถถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าสารทำงานเอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.4.4 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความยาวส่วนควบแน่น 252 mm มุมเอียง 70° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.22 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 มุมเอียง 70°

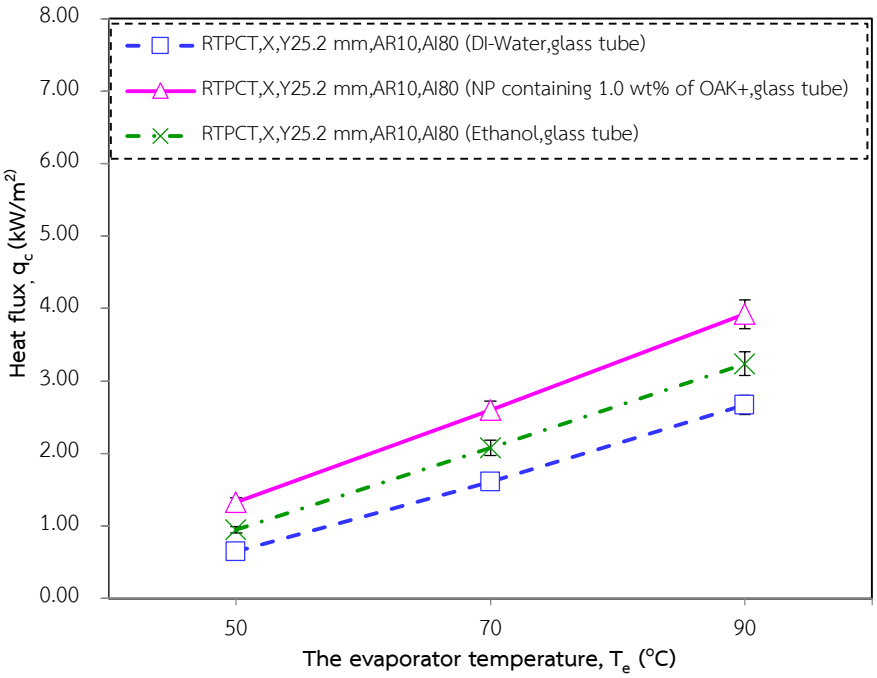
จากภาพประกอบ 4.22 แสดงผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความยาวส่วนควบแน่น 252 mm มีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่มุมเอียง 70° เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เมื่อรับความ

ร้อนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในได้รับความร้อนของเหลวภายในกลายเป็นฟองไอและรวมตัวกันเป็นก้อนไอเมื่อได้รับความร้อนสะสมถึงจุดๆหนึ่งก้อนไอจะเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและควบแน่นกับเป็นของเหลวเคลื่อนที่ลงโดยมีแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่ลงจะมีก้อนไอที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเคลื่อนที่ขึ้น [173] การไหลของไอสารและของเหลวที่เคลื่อนที่สวนทางกันจะมีความเสียดทานน้อย เมื่อเทียบกับมุมเอียงในแนวตั้ง เนื่องจากมุมเอียงทำให้แรงต้านทานต่อการไหลลดลง ที่เหมาะสมมีความสำคัญมากเพื่อให้การไหลของไอสารและของเหลวเป็นไปอย่างราบรื่น จากการทดลองพบว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.43 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.38 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.42 kW/m^2 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอตความเข้มข้น 1 wt% (OAK$^+$) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีแนวโน้มสูงตามอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล ที่มุมเอียงที่เท่ากัน ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.90 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.24 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.52 kW/m^2 อาจเป็นเพราะคุณลักษณะทั่วไปของเงินมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า ความสามารถในการนำความร้อนได้ดีของเงินเกิดจากโครงสร้างอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระในโลหะ โดยอะตอมของเงินมีการเรียงตัวแบบชิดแน่น ทำให้โมเลกุลสามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [75] นอกจากนี้ เงินยังมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากที่สามารถพาความร้อนได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดปริมาณฟองไอที่มากเดือดได้เร็ว สามารถนำความร้อนไปถ่ายเทความร้อนได้มาก [174] สารทำงาน เอทานอล ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.69 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.72 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.87 kW/m^2

ดังนั้นสรุปได้ว่า สารทำงานมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด AR 10 มุมเอียง 70° สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มี

กรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) สามารถถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าสารทำงานเอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI)

4.4.5 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความยาวส่วนควบแน่น 252 mm มุมเอียง 80° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.23 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 มุมเอียง 80°

จากภาพประกอบ 4.23 แสดงผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

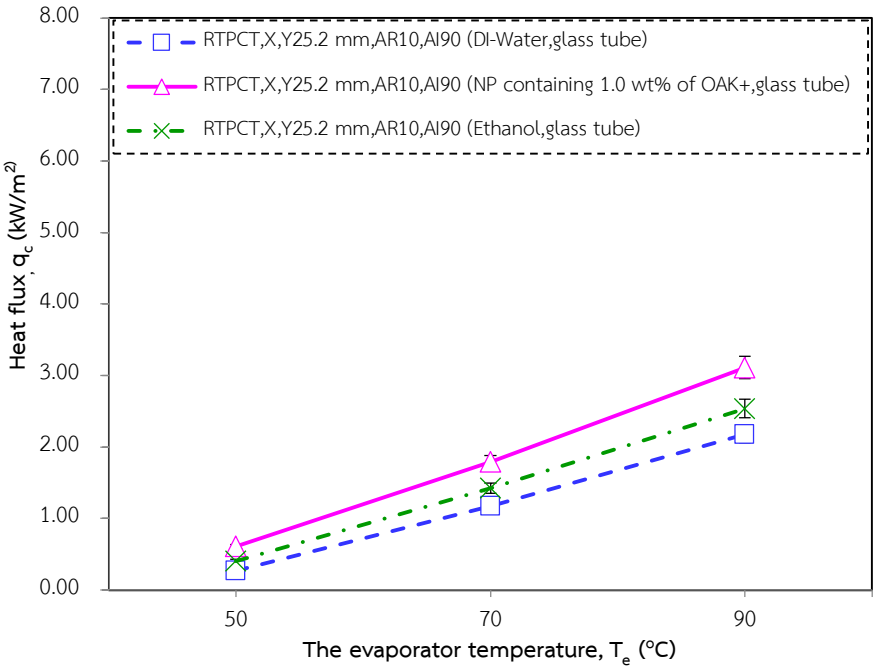
อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความยาวส่วนควบแน่น 252 mm มีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น [175] ที่มุมเอียง 80° เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เมื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ได้รับความร้อนของเหลวภายในกลายเป็นฟองไอและรวมตัวกันเป็นก้อนไอเมื่อได้รับความร้อนสะสมถึงจุดๆ หนึ่งก้อนไอจะเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและควบแน่นกับเป็นของเหลวเคลื่อนที่ลงโดยมีแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่ลงจะมีก้อนไอที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเคลื่อนที่ขึ้น มุมเอียง 80° กับแนวระดับ การเคลื่อนที่ของไอสารและของเหลวที่ไหลสวนทางกันจะเกิดความเสียดทานน้อยมาก เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างสองส่วนนี้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ในแนวที่มีมุมเอียงอื่น ดังนั้นการเคลื่อนที่ของไอสารจะไหลได้อย่างราบรื่นมากขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นในระบบการถ่ายเทความร้อน การลดความเสียดทานนี้ยังช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบดีขึ้นและลดการสูญเสียพลังงาน ทำให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [176] จากการทดลองพบว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.65 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.61 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.67 kW/m^2 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK$^+$) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีแนวโน้มสูงตามอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล ที่มุมเอียงที่เท่ากัน ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 1.32 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.60 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.92 kW/m^2 อาจเป็นเพราะคุณลักษณะทั่วไปของเงินมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า ความสามารถในการนำความร้อนได้ดีของเงินเกิดจากโครงสร้างอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระในโลหะ โดยอะตอมของเงินมีการเรียงตัวแบบชิดแน่น ทำให้โมเลกุลสามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [75] นอกจากนี้ เงินยังมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากที่สามารถพาความร้อนได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดปริมาณฟองไอที่มากเดือดได้เร็ว สามารถนำความร้อนไปถ่ายเทความร้อนได้มาก สารทำงาน เอทานอล ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.95 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่

ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2.08 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.24 kW/m^2

ดังนั้นสรุปได้ว่า สารทำงานมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด 10 มุมเอียง 80° สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) สามารถถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าสารทำงานเอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.4.6 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความยาวส่วนควบแน่น 252 mm มุมเอียง 90° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.24 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 มุมเอียง 90°

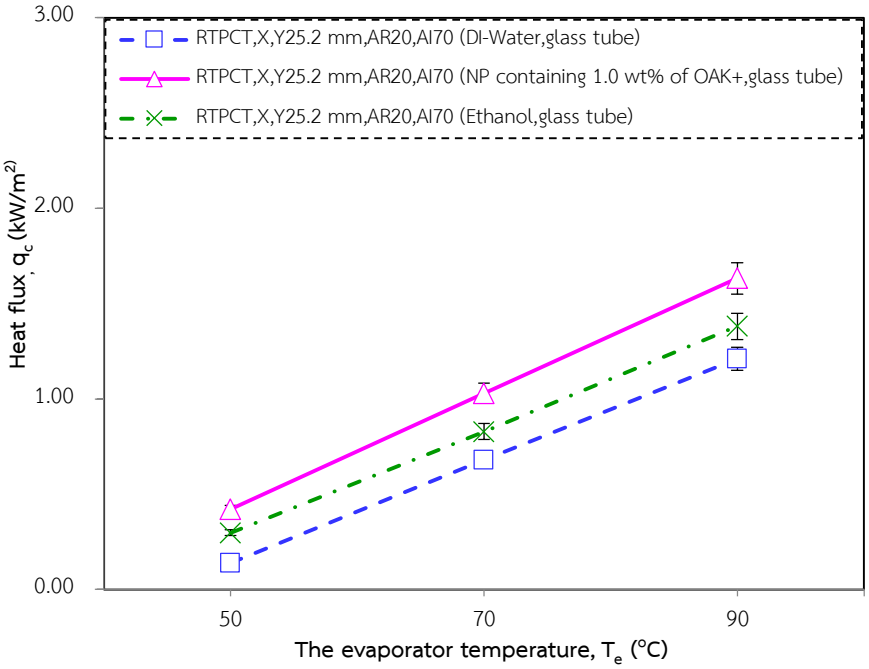
จากภาพประกอบ 4.24 แสดงผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 10 ความยาวส่วนควบแน่น 252 mm มีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่มุมเอียง 90° เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เมื่อรับความ

ร้อนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ได้รับความร้อนของเหลวภายในกลายเป็นฟองไอและรวมตัวกันเป็นก้อนไอเมื่อได้รับความร้อนสะสมถึงจุดๆหนึ่ง ก้อนไอจะเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและควบแน่นกับเป็นของเหลวเคลื่อนที่ลงโดยมีแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่ลงจะมีก้อนไอที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเคลื่อนที่ขึ้น [149] มุมเอียง 90° กับแนวระดับ การเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ซึ่งเกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ การทดลองพบว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.27 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.17 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.17 kW/m^2 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK$^+$) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีแนวโน้มสูงตามอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล ที่มุมเอียงที่เท่ากัน ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.61 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.79 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.11 kW/m^2 อาจเป็นเพราะคุณลักษณะทั่วไปของเงินมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่าความสามารถในการนำความร้อนได้ดีของเงินเกิดจากโครงสร้างอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระในโลหะ โดยอะตอมของเงินมีการเรียงตัวแบบชิดแน่น ทำให้โมเลกุลสามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [75] นอกจากนี้ เงินยังมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากที่สามารถพาความร้อนได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดปริมาณฟองไอที่มากเดือดได้เร็ว [72] สามารถนำความร้อนไปถ่ายเทความร้อนได้มาก สารทำงาน เอทานอล ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.41 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.42 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 2.54 kW/m^2

ดังนั้นสรุปได้ว่า สารทำงานมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด AR 10 มุมเอียง 90° สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มี

กรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) สามารถถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าสารทำงานเอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI)

4.4.7 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความยาวส่วนควบแน่น 504 mm มุมเอียง 70° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.25 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 มุมเอียง 70°

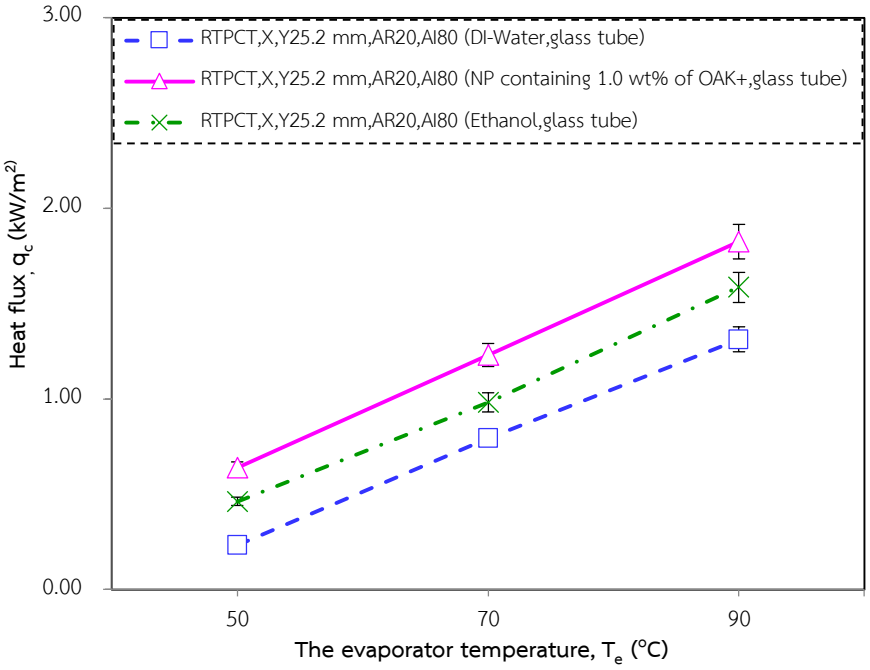
จากภาพประกอบ 4.25 แสดงผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความยาวส่วนควบแน่น 504 mm มีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่มุมเอียง 70° เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เมื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ได้รับความร้อนของเหลวภายในกลายเป็นฟองไอและรวมตัวกันเป็นก้อนไอเมื่อได้รับความร้อนสะสมถึงจุดๆหนึ่งก้อนไอจะเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและควบแน่นกับเป็นของเหลวเคลื่อนที่ลงโดยมีแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่ลงจะมีก้อนไอที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเคลื่อนที่ขึ้น มุมเอียง 70° กับแนวระดับ การเคลื่อนที่ของไอสารและของเหลวที่ไหลสวนทางกันจะเกิดความเสียดทานน้อยมาก เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างสองส่วนนี้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ในแนวที่มีมุมเอียงน้อยกว่า ดังนั้นการเคลื่อนที่ของไอสารจะไหลได้อย่างราบรื่นมากขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นในระบบการถ่ายเทความร้อน [177] มุมเอียง 70° ถือว่ามีความเสียดทานปานกลางและสามารถใช้งานได้ การทดลองพบว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.14 kW/m^2 ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.68 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.21 kW/m^2 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีแนวโน้มสูงตามอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล ที่มุมเอียงที่เท่ากัน ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.42 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.03 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.63 kW/m^2 มีคุณสมบัติ คือ คุณลักษณะทั่วไปของเงินมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า ความสามารถในการนำความร้อนได้ดีของเงินเกิดจากโครงสร้างอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระในโลหะ [75] โดยอะตอมของเงินมีการเรียงตัวแบบชิดแน่น ทำให้โมเลกุลสามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [72] นอกจากนี้ เงินยังมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากที่สามารถพาความร้อนได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดปริมาณฟองไอที่มากเดือดได้เร็ว สามารถนำความร้อนไปถ่ายเทความร้อนได้มาก [178] สารทำงาน เอทานอล ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.30 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.83 kW/m^2

และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.38 kW/m^2

ดังนั้นสรุปได้ว่า สารทำงานมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 มุมเอียง 70° สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^{+}) สามารถถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าสารทำงานเอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI)

4.4.8 ผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความยาวส่วนควบแน่น 504 mm มุมเอียง 80° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.26 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 มุมเอียง 80°

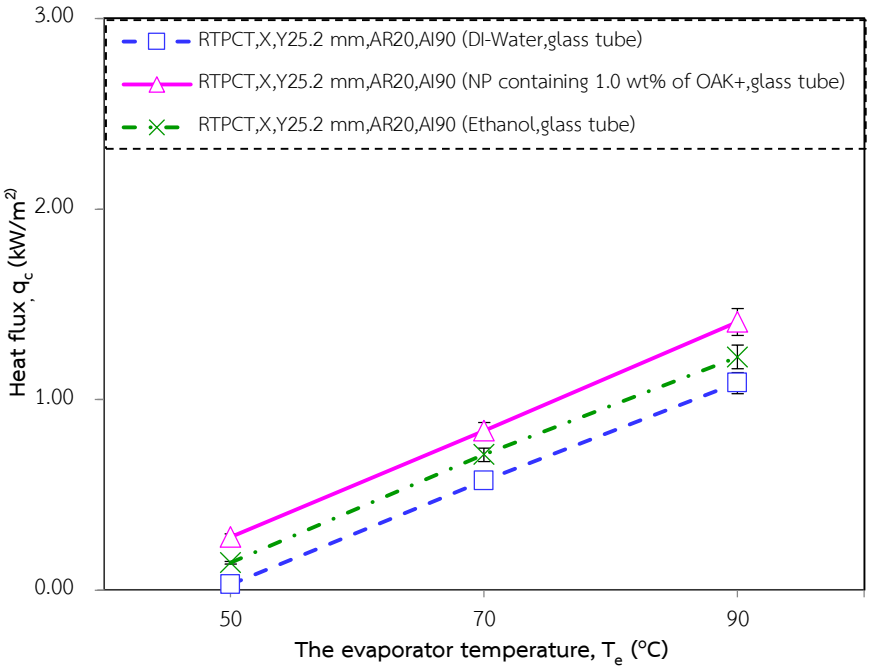
จากภาพประกอบ 4.26 แสดงผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความยาวส่วนควบแน่น 504 mm มีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่มุมเอียง 80° เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เมื่อรับความ

ร้อนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ได้รับความร้อนของเหลวภายในกลายเป็นฟองไอและรวมตัวกันเป็นก้อนไอเมื่อได้รับความร้อนสะสมถึงจุดๆหนึ่ง ก้อนไอจะเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและควบแน่นกับเป็นของเหลวเคลื่อนที่ลงโดยมีแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่ลงจะมีก้อนไอที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเคลื่อนที่ขึ้น [179] มุมเอียง 80° กับแนวระดับ การไหลของไอสารและของเหลวที่เคลื่อนที่สวนทางกันจะมีความเสียดทานน้อยที่สุด เนื่องจากมุมเอียงนี้ทำให้ไอสารและของเหลวสามารถไหลได้อย่างอิสระ โดยไม่มีแรงต้านทานจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางของการไหล ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนจะมีประสิทธิภาพสูงสุด [180] ในมุมเอียงนี้ จากการทดลองพบว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.23 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.79 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.31 kW/m^2 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีแนวโน้มสูงตามอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล ที่มุมเอียงที่เท่ากัน ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.64 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 1.23 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.82 kW/m^2 อาจเป็นเพราะคุณลักษณะทั่วไปของเงินมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า ความสามารถในการนำความร้อนได้ดีของเงินเกิดจากโครงสร้างอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระในโลหะ โดยอะตอมของเงินมีการเรียงตัวแบบชิดแน่น [75] ทำให้โมเลกุลสามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้เงินยังมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากที่สามารถพาความร้อนได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดปริมาณฟองไอที่มากเดือดได้เร็ว [181] สามารถนำความร้อนไปถ่ายเทความร้อนได้มาก [182] สารทำงานเอทานอล ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.46 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.98 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.59 kW/m^2

ดังนั้นสรุปได้ว่า สารทำงานมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด 20 มุมเอียง 80° สาร

ทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) สามารถถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าสารทำงานเอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI)

4.4.9 ผลของสารทำงานและมุมทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความยาวส่วนควบแน่น 504 mm มุมเอียง 90° กับแนวระดับ



ภาพประกอบ 4.27 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 มุมเอียง 90°

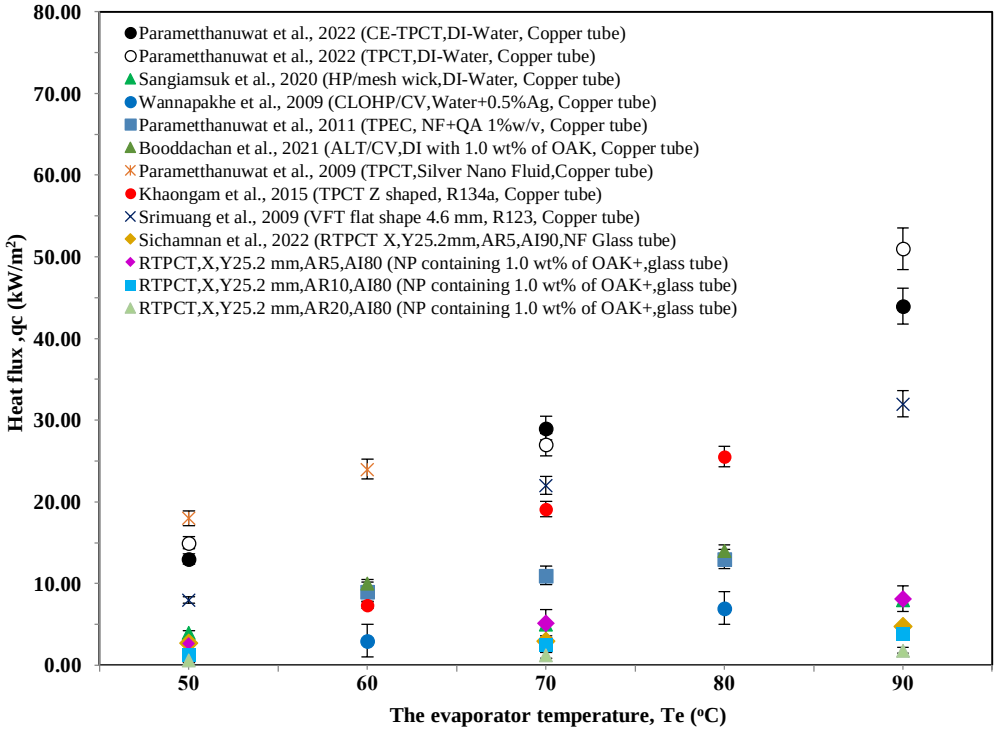
จากภาพประกอบ 4.27 แสดงผลของสารทำงานและมุมเอียงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 20 ความยาวส่วนควบแน่น 504 mm มีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่มุมเอียง 90° เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) เมื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในได้รับความร้อนของเหลวภายในกลายเป็นฟองไอและรวมตัวกันเป็นก้อนไอเมื่อได้รับความร้อนสะสมถึงจุดๆหนึ่งก้อนไอจะเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและควบแน่นกับเป็นของเหลวเคลื่อนที่ลงโดยมีแรงโน้มถ่วงของโลก [182] ซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่ลงจะมีก้อนไอที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเคลื่อนที่ขึ้น ที่มุมเอียง 90° กับแนวระดับ การเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในจะมีลักษณะเคลื่อนที่ชนกันระหว่างส่วนที่เป็นไอกับของเหลวทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ซึ่งเกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้นระหว่างของเหลวที่ควบแน่นกับก้อนไอ [183] จากการทดลองพบว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.03 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.57 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.09 kW/m^2 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีแนวโน้มสูงตามอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) และเอทานอล ที่มุมเอียงที่เท่ากัน ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.28 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.84 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.41 kW/m^2 ทั้งนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติ คือ คุณลักษณะทั่วไปของเงินมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า ความสามารถในการนำความร้อนได้ดีของเงินเกิดจากโครงสร้างอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระในโลหะ โดยอะตอมของเงินมีการเรียงตัวแบบชิดแน่น [75] ทำให้โมเลกุลสามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ เงินยังมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากที่สามารถพาความร้อนได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดปริมาณฟองไอที่มากเดือดได้เร็ว [181] สามารถนำความร้อนไปถ่ายเทความร้อนได้มาก [184] สารทำงาน เอทานอล ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 50 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 0.15 kW/m^2 รองลงมา ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 70 °C ให้อัตราการถ่ายเทความ

ร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 0.71 kW/m^2 และความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย 90 °C ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.22 kW/m^2

ดังนั้นสรุปได้ว่า สารทำงานมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด AR 20 มุมเอียง 90° สารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) สามารถถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าสารทำงานเอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI)

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

4.4.10 ผลการเปรียบเทียบสารทำงานและมุมเอียงที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° ที่เส้นสัมผัสเปียกขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C, 70 °C และ 90 °C อัตราส่วนสนทัด AR 5, 10 และ 20 ความยาวส่วนควบแน่น Lc 126, 252 และ 504 mm เทียบกับผลงานนักวิจัยนี้



ภาพประกอบ 4.28 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิส่วนทำระเหยและมุมเอียงต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เมื่อเทียบกับผลงานของนักวิจัยนี้

ภาพประกอบ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของส่วนทำระเหยและอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ในส่วนควบแน่น การศึกษานี้เน้นไปที่การศึกษารูปแบบการไหลและ

ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm มุมเอียง 70°, 80° และ 90° อุณหภูมิของส่วนทำระเหย 50, 70 และ 90 °C อุณหภูมิของส่วนควบแน่นคงที่ที่ 20 °C สารทำงานที่ใช้ ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่ 90 °C ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่อัตราส่วนสนทัด (AR) เท่ากับ 5 ฟลักซ์ความร้อน 8.16 kW/m² ซึ่งลดลงเมื่อค่า AR เพิ่มขึ้นการศึกษายังให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับผลของมุมเอียงและความยาวของส่วนควบแน่น นอกจากนี้ ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการทดสอบ RTPCT ถูกนำมาเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับผลการทดสอบอื่น ๆ เช่น นักออกแบบได้ปรับปรุงท่อ CE-TPCT ใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพช่องทางการไหล ซึ่งช่วยลดความต้านทานความร้อน ในขณะเดียวกันก็ใช้ทองแดงซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง [185] แม้ว่าการศึกษาของผู้เขียนจะใช้วัสดุที่แตกต่างกัน (แผ่นแก้วไพเร็กซ์และสแตนเลส AISI-304) แต่งานวิจัยก็แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพเมื่อใช้อนุภาคนาโนเงินและสารลดแรงตึงผิว นอกจากนี้การศึกษายังแสดงให้เห็นถึงผลในระดับเดียวกันในการลดความต้านทานทางความร้อนของส่วนควบแน่น อีกทั้งนักวิจัยยังได้พัฒนาท่อความร้อนที่มีวัสดุพรุน โดยวัสดุพรุนภายในท่อทองแดงช่วยให้การลำเลียงของเหลวควบแน่นกลับไปยังส่วนทำระเหยทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [186] แม้ว่าผู้เขียนของการศึกษานี้จะไม่ได้ใช้วัสดุพรุน แต่พบว่า การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของของเหลวที่ใช้ทำงาน เช่น กรดโอเลอิกและอนุภาคนาโน มีผลในลักษณะเดียวกันในการช่วยให้การไหลกลับของของเหลวในส่วนควบแน่นดีขึ้น นอกจากนี้ นักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับของเหลวที่ใช้ในระบบ CLOHP/CV และของเหลวที่มีอนุภาคนาโนเงิน ได้เพิ่มอนุภาคนาโนเงินลงไปเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน โดยผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อทำงานที่อุณหภูมิสูง [187] ผู้เขียนของการศึกษานี้ใช้อนุภาคนาโนเงินในปริมาณ 0.5 wt% ซึ่งคล้ายกับการวิจัยก่อนหน้า และพบว่าความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ การวิจัยเชิงประยุกต์โดย TPEC ยังใช้อนุภาคนาโนเงินและกรดโอเลอิก เพื่อช่วยปรับปรุงการถ่ายเทความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำบริสุทธิ์ [75] ผลการวิจัยของผู้เขียนสนับสนุนว่ากรดโอเลอิกและอนุภาคนาโนช่วยเพิ่มความเสถียรของฟิล์มของเหลว ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ซึ่งในบางสภาวะสามารถทำผลงานได้เหนือกว่า TPEC นอกจากนี้ นักวิจัยยังได้พัฒนาเทอร์โมไซฟอนโดยการติดตั้งวาล์วภายในระบบ ALT/CV สารทำงาน เช่น โพแทสเซียมโอเลต และสารผสมของอนุภาคนาโนเงิน 0.5 wt% กรดโอเลอิก และโพแทสเซียมโอเลต จนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดถึง 80 % [73] การศึกษานี้รายงานว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กรดโอเลอิกผสมกับโพแทสเซียมโอเลต นักวิจัยได้

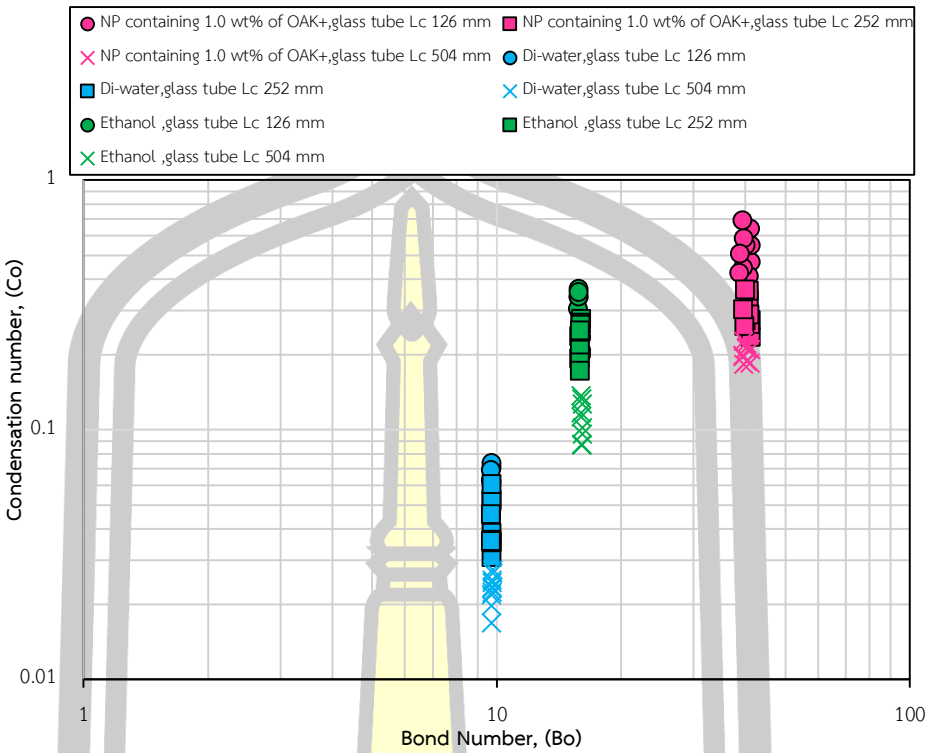
มุ่งเน้นไปที่ของเหลวที่ใช้ในระบบ TPCT และของเหลวที่มีอนุภาคนาโนเงิน การเติมของเหลวที่มีอนุภาคนาโนเงินลงในระบบ TPCT ช่วยเพิ่มการไหลของความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C อัตราส่วนสนทัด AR 20 [20] ผู้เขียนพบว่าที่อุณหภูมิ 90 °C ในระบบ RTPCT อัตราส่วนสนทัด AR 5 ให้ประสิทธิภาพสูงกว่า AR 10 และ 20 นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาการออกแบบ TPCT รูปทรงตัว Z หลายแบบ เพื่อปรับมุมเอียงที่ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย การปรับมุมเอียงที่ 90° ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลกลับของของเหลวและลดความต้านทานทางความร้อนลง 0.065 °C/W [188] ผู้เขียนพบว่า มุมเอียง 80° ในระบบ RTPCT ช่วยลดความหนาของฟิล์มของเหลวในส่วนควบแน่น ส่งผลให้ความต้านทานทางความร้อนลดลงและเพิ่มการไหลกลับของของเหลว นอกจากนี้ นักวิจัยยังได้พัฒนาท่อทองแดงรูปแบบแบน (VFT) แม้ว่าผู้เขียนจะใช้ท่อทรงสี่เหลี่ยม แต่ท่อแบนนี้ก็ช่วยเพิ่มการไหลของความร้อนได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะในกรณีที่มีค่า AR ต่ำ ซึ่งสารที่ทำงานจะระเหยเร็วขึ้น [189] นักวิจัยได้ศึกษาลักษณะการไหลของของเหลวที่ใช้ในระบบ RTPCT พบว่า การใช้น้ำปราศจากไอออน ผสมกับอนุภาคนาโนเงิน (NP) ในปริมาณ 0.5 wt% ในระบบ RTPCT มีผลต่อค่าการไหลของความร้อนสูงสุด 4.78 kW/m² นอกจากนี้ ลักษณะการไหลในส่วนทำระเหยแสดงให้เห็นถึงการไหลแบบฟอง การไหลแบบก้อน และการไหลแบบโพรง [35] ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C ผู้เขียนรายงานว่ามีการไหลของความร้อนสูงถึง 8.16 kW/m² ที่ค่า AR 5 สะท้อนให้เห็นว่าการผสมสาร เช่น กรดโอเลอิกและโพแทสเซียมโอเลต ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีในส่วนควบแน่น พบลักษณะการไหล 3 แบบ ได้แก่ การเคลื่อนไหวแบบผันผวน การควบแน่นเป็นหยดเล็กๆ และการไหลแบบย้อนกลับเป็นสายเล็กๆ ส่วนลักษณะการไหลในส่วนทำระเหยแสดงให้เห็น 2 ประเภทที่ชัดเจน คือ การไหลแบบฟองและการไหลแบบโพรง

เมื่อเปรียบเทียบกับการวิจัยครั้งก่อนของผู้เขียน สามารถสรุปได้ดังนี้ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิในส่วนทำระเหยมีผลสำคัญต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน ความยาวของส่วนทำระเหยช่วยให้การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิของของเหลวที่ใช้งานที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความจุความร้อนจำเพาะลดลง [190-192] ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบกระบวนการพาความร้อนระหว่างการไหลของเหลวและไอ [6, 186] ในระบบ RTPCT การกระจายความร้อนเป็นไปได้ด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม AISI-304 ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างในการระบายความร้อน ขณะที่แผ่นแก้วไพเร็กซ์ถูกใช้สำหรับส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น [10] การเคลื่อนที่ของของเหลวอย่างรวดเร็วสามารถถ่ายเทความร้อนปริมาณมากจากส่วนระทำเหยไปยังส่วนควบแน่นได้ [35] เมื่อความยาวของส่วนควบแน่นเพิ่มขึ้น AR เท่ากับ 10 และ 20 อัตราการถ่ายเทความร้อนกลับลดลง ท่อที่ยาวขึ้นทำให้ระยะทางการไหลของของเหลวที่ใช้งานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง [38, 193] อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

ลดลงเหลือ 1.82 และ 3.92 kW/m² ตามลำดับ การลดลงของประสิทธิภาพนี้เกิดจากระยะทางการไหลของของเหลวที่ใช้งานที่ยาวขึ้น ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับการวิจัย [26, 194, 195] มุมเอียงที่ 80° ทำให้ฟิล์มของเหลวที่ควบแน่นในส่วนควบแน่นบางลง ซึ่งเพิ่มความหนืดของของเหลวที่ใช้งานและช่วยให้สารทำงานไหลกลับไปยังส่วนทำระเหยได้ดีขึ้นผลที่ได้ คือ ความต้านทานทางความร้อนของฟิล์มของเหลวในส่วนควบแน่นลดลง [188] แม้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของ RTPCT ในงานวิจัยนี้จะต่ำกว่าที่เคยมีการรายงานในงานวิจัยก่อนหน้า แต่งานวิจัยนี้มีความสำคัญเนื่องจากช่วยขยายความเข้าใจเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและรูปร่างพื้นผิวในเทอร์โมไซฟอนแบบสี่เหลี่ยม ลักษณะการไหลในส่วนควบแน่นประกอบด้วย รูปแบบการไหลแบบผันผวน การควบแน่นเป็นหยดเล็กๆ และการไหลแบบย้อนกลับเป็นสายเล็กๆ ส่วนลักษณะการไหลหลักในส่วนทำระเหย คือ การไหลแบบฟองและการไหลแบบโพรง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) มีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของส่วนควบแน่น การวิจัยนี้ช่วยเพิ่มพูนความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของ RTPCT และให้ข้อมูลที่มีค่าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบถ่ายเทความร้อนขั้นสูง

4.5 ผลของตัวแปรไร้มิติที่มีต่อค่าคอนเดนเซชันของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT)

4.5.1 ผลของตัวเลขบอนด์ (Bo) ที่มีต่อตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) ในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สามารถแสดงได้โดยการพล็อตกราฟระหว่างตัวเลขควบแน่น (Co) กับตัวเลขบอนด์ (Bo) กราฟช่วยให้เข้าใจการทำงานของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิว แรงตึงผิวจากสารลดแรงตึงผิว และกระบวนการควบแน่น (Bo) โดยสมดุลระหว่างแรงลอยตัวและแรงตึงผิวสะท้อนถึงแนวโน้มของระบบในการรักษาสภาพสมดุลที่ผิวร่วม ประสิทธิภาพของ (Co) แสดงถึงความสามารถในการควบแน่นและความเสถียรของระบบภายใต้เงื่อนไขการทำงานเฉพาะ



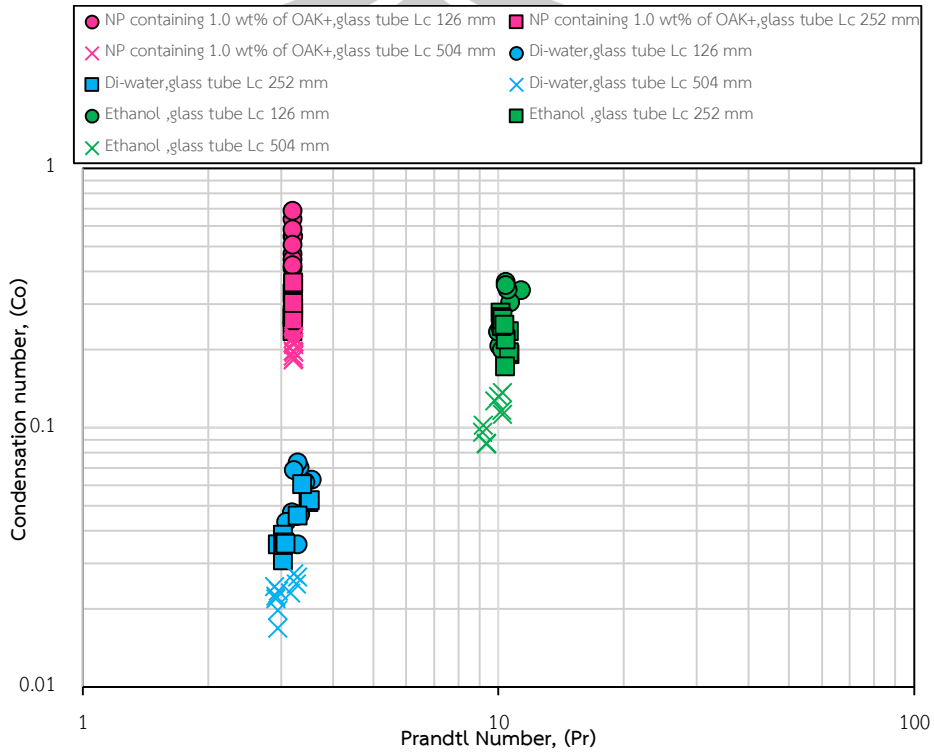
ภาพประกอบ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขบอนด์ (Bo) กับตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล

ภาพประกอบ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขบอนด์ (Bond number, Bo) และตัวเลขคอนเดนเซชัน (Condensation number, Co) ในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มุมเอียง 70°, 80° และ 90° สารทำงานที่ใช้ในการทดลอง น้ำปราศจากไอออน (DI), น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอเลต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+), และเอทานอล อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50°, 70° และ 90 °C ความยาวของส่วนควบแน่น คือ 126 mm, 252 mm และ 504 mm ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าตัวเลขบอนด์ (Bo) ซึ่งเป็นตัวแทนของอัตราส่วนระหว่างแรงลอยตัวและแรงตึงผิว มีบทบาทสำคัญในการกำหนดลักษณะการไหลของไอน้ำและของเหลว เมื่อค่า Bo สูงขึ้น หมายถึง แรงลอยตัวมีมากขึ้น ซึ่งช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างรูปแบบการไหลต่างๆ การทดลองพบว่า มีลักษณะการไหลแบบฟอง การไหลแบบก้อน และการไหลแบบโพรง สำหรับอัตราส่วน

สนทัด (AR) 5, 10 และ 20 เมื่ออัตราส่วนสนทัดเพิ่มขึ้น มุมเอียงอยู่ที่ 70° และ 80° รวมถึงอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C จะพบการไหลแบบฟิล์มบางหรือการไหลแบบแบ่งชั้นเป็นหลัก ในทำนองเดียวกัน ตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) ซึ่งวัดอัตราส่วนระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว มีผลต่อรูปแบบการควบแน่น เมื่อค่า Co เพิ่มขึ้น การควบแน่นจะเปลี่ยนจากรูปแบบฟิล์มบางไปเป็นการควบแน่นเป็นหยด ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนได้อย่างมาก [196] น้ำปราศจากไอออน (DI) (ที่มีค่าบอนด์น้อย และค่าคอนเดนเซชันต่ำ) ในส่วนทำระเหยแสดงให้เห็นถึงลักษณะการไหลแบบฟอง การไหลแบบก้อง และแบบฟิล์มบางรอบท่อ ในช่วงระยะการควบแน่น จะเกิดการควบแน่นเป็นฟิล์มบาง ซึ่งให้ประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนในระดับปานกลาง [197] การระเหยของเอทานอล (ที่มีค่าบอนด์ปานกลาง และค่าคอนเดนเซชันปานกลาง) เปลี่ยนไปสู่ลักษณะการไหลแบบโพรง ขณะที่การควบแน่นเปลี่ยนจากรูปแบบฟิล์มบางเป็นการควบแน่นเป็นหยดเล็กๆ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน [198] น้ำปราศจากไอออน (DI) ที่มีสารเติมแต่ง (ค่าบอนด์สูง และค่าคอนเดนเซชันสูง) เมื่อผสมกับอนุภาคนาโนเงิน 0.5% (NP), กรดโอเลอิก 1% (OA), และโพแทสเซียมโอเลต 1% (OAK^+), แรงลอยตัวที่แข็งแกร่งทำให้เกิดลักษณะการไหลแบบโพรงในช่วงการระเหย ค่าตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) ช่วยปรับสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ส่งผลให้การถ่ายโอนความร้อนดีขึ้น ในกรณีของ NP, OA, และ OAK^+ ที่ถูกเติมลงในน้ำ ค่า Co เพิ่มขึ้นพร้อมกับการลดลงของแรงตึงผิว ซึ่งนำไปสู่การควบแน่นของฟองไอมากขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในทางกลับกัน ประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนสำหรับ RTPCT ขึ้นอยู่กับโครงสร้างการไหลภายในส่วนระเหย ซึ่งได้รับอิทธิพลจากค่าบอนด์ (Bo) และลักษณะการไหลที่เปลี่ยนแปลงไป จากการแยกเป็นหย่อมๆ จนถึงการแบ่งชั้น เนื่องมาจากแรงลอยตัวและแรงตึงผิว การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C และมุมเอียง 70° และ 80° รูปแบบการไหล 3 แบบ แบบหยดเล็กๆ, แบบฟิล์มบาง, และแบบย้อนกลับสายเล็กๆ แตกต่างกันไปตามชนิดของของเหลวประสิทธิภาพสูง เช่น สารผสม NP และ OA ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน และเน้นความสำคัญของค่า Bo และ Co ในงานประยุกต์ของเทอร์โมไซฟอน

4.5.2 ผลของตัวเลขแพรนตัน (Pr) ที่มีต่อตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) ในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) การพล็อตกราฟระหว่างตัวเลขควบแน่น (Co) เทียบกับตัวเลขพรันดท์ (Pr) ช่วยในการวิเคราะห์การถ่ายโอนความร้อนและการควบแน่นของของเหลว โดยเน้นไปที่ประสิทธิภาพของกระบวนการแพร่กระจายและความสามารถในการควบแน่น ดังที่อธิบายไว้ด้านล่าง พารามิเตอร์ (Pr) แสดงถึงคุณลักษณะการแพร่กระจายความร้อนของของเหลว

ในขณะที่ (Co) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการถ่ายโอนความร้อนระหว่างการไหลของของเหลวกับผนังท่อในกระบวนการควบแน่น

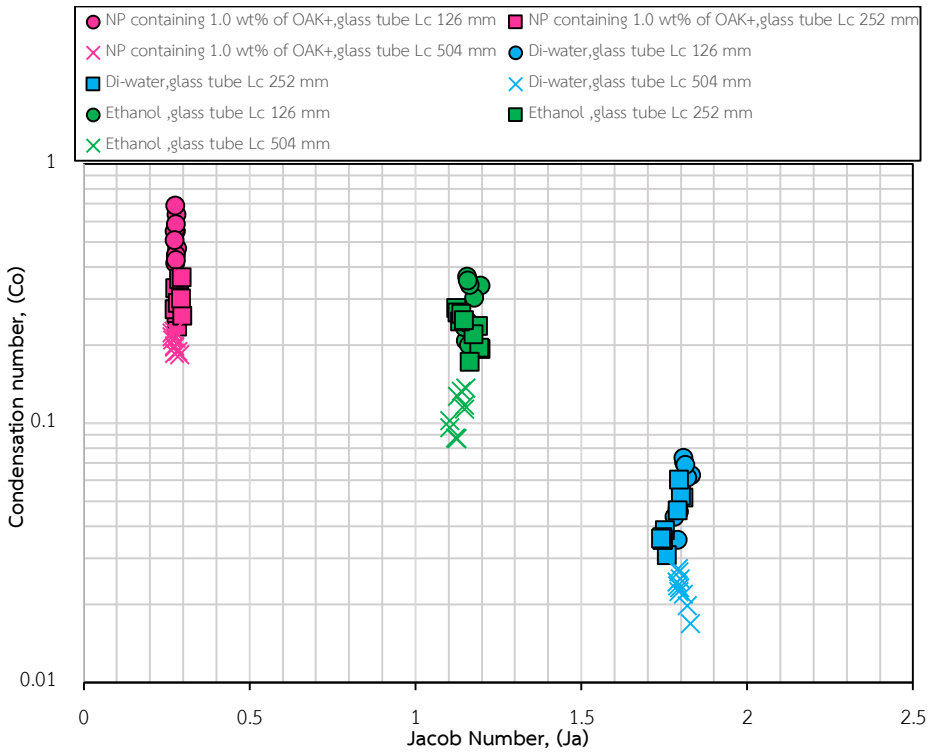


ภาพประกอบ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแพรนตัน (Pr) กับตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล

ภาพประกอบ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแพรนตัน (Prandtl number) และตัวเลขคอนเดนเซชัน (Condensation number) ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) มุมเอียง 70°, 80° และ 90° สารทำงานที่ใช้ในการทดลอง น้ำปราศจากไอออน (DI), น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอเลต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+), และเอทานอล อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50°, 70° และ 90 °C ความยาวของส่วนควบแน่น 126 mm, 252 mm และ 504 mm ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การพาความร้อน (Convection) มีบทบาทสำคัญมากกว่าการนำความร้อน

ของของเหลว ซึ่งได้จากค่าตัวเลขแพรนตัน ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนที่ดีขึ้นจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น สำหรับตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) นั้นแสดงถึงการถ่ายโอนความร้อนผ่านกระบวนการควบแน่นในฟิล์มไอน้ำ [74] จำนวนอนุภาคที่สูงแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการถ่ายโอนความร้อนจากของเหลวไปยังไอ [199] ตามลักษณะการไหลต่างๆ ซึ่งรวมถึง การเคลื่อนไหวแบบผันผวน การควบแน่นหยดเล็กๆ การควบแน่นเป็นฟิล์มบาง และการไหลเป็นสายเล็กๆ ในส่วนควบแน่น [200] ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C และ 90 °C การผสมอนุภาคนาโนเงิน (NP) ช่วยเพิ่มการนำความร้อน อย่างไรก็ตาม ค่าตัวเลขแพรนตัน (Prandtl number) ที่ต่ำแสดงว่าของเหลวไม่สามารถถ่ายโอนความร้อนไปยังไอได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลให้เกิดการไหลย้อนกลับและลดประสิทธิภาพของการถ่ายโอนความร้อน [201] ลักษณะการไหลในส่วนทำระเหย ประกอบด้วย การไหลแบบฟอง การไหลแบบก้อน การการไหลแบบโพรง และการไหลแบบฟิล์มบางรอบท่อ อุณหภูมิสูงโดยเฉพาะที่ 70 °C และ 90 °C สอดคล้อง กับค่าตัวเลขพรันดท์และตัวเลขควบแน่น ในส่วนควบแน่นจะเกิดลักษณะการไหลแบบผันผวน การควบแน่นเป็นหยดเล็กๆ และการควบแน่นเป็นฟิล์มบาง เทอร์โมไซฟอน RTPCT ที่มุมเอียง 80° มีประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนที่ดีกว่าที่อุณหภูมิ 70 °C และ 90 °C เนื่องจากการไหลของของเหลวและไอมีความสมดุลกันอย่างเหมาะสม [202] แก้วมีคุณสมบัติการนำความร้อนต่ำกว่าโลหะเมื่อใช้ในระบบ RTPCT อย่างไรก็ตาม การเติมอนุภาคนาโนเงิน (NP) ที่ผสมกับกรดโอเลอิก (OA) และโพแทสเซียมโอเลต (OAK^+) ช่วยเพิ่มการนำความร้อนของวัสดุ ทำให้ระบบการถ่ายโอนความร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้น พฤติกรรมทางความร้อนของวัสดุเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในทั้งส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น

4.5.3 ผลของตัวเลขจาคอบ (Jacob number, Ja) ที่มีต่อตัวเลขคอนเดนเซชัน (Condensation number, Co) ในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) วัตถุประสงค์หลักของการพล็อตกราฟระหว่างตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) กับตัวเลขจาคอบ (Ja) คือการศึกษาประสิทธิภาพของการถ่ายโอนความร้อน ผลของความร้อนแฝงและการเปลี่ยนเฟสสามารถสังเกตได้ดังนี้ (Ja) แสดงระดับของพลังงานความร้อนในระบบ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของความร้อนแฝงต่อกระบวนการควบแน่น ในขณะที่ (Co) แสดงถึงความสามารถของสารในการถ่ายโอนความร้อนที่ผิวสัมผัสระหว่างการควบแน่น



ภาพประกอบ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขจาคอบ (Ja) กับตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล

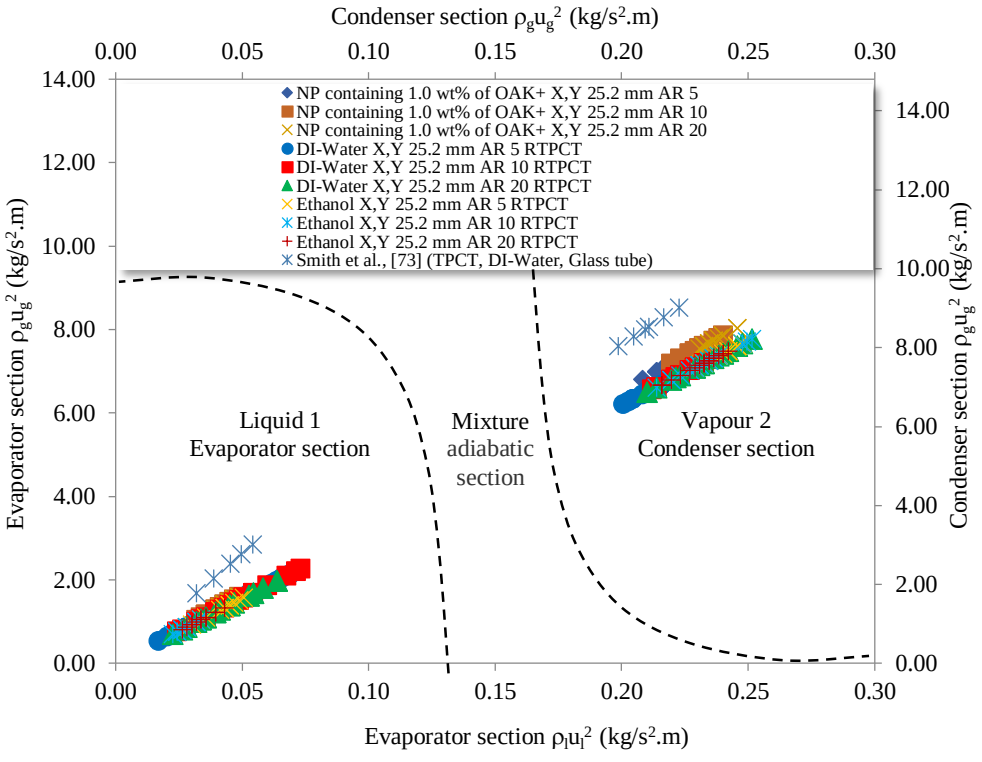
ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขจาคอบ(Jacob number) และตัวเลขคอนเดนเซชัน (Condensation number) ของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) ที่มุมเอียง 70°, 80° และ 90° แสดงอยู่ในภาพประกอบ 4.31 สารทำงานที่ใช้ในการทดลอง น้ำปราศจากไอออน (DI), น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอเลต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+), และเอทานอล อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50°, 70° และ 90 °C ความยาวของส่วนควบแน่นอยู่ที่ 126 mm, 252 mm, และ 504 mm ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวเลขจาคอบ (Ja) เป็นตัวชี้วัดการระเหยของของเหลวที่ใช้งานและส่งผลต่อความเข้มของการไหลในส่วนระเหย [203] ซึ่งส่งผลต่อลักษณะการไหล เช่น การไหลแบบฟอง การไหลแบบก้อน การไหลแบบโพรง และการไหลแบบฟิล์มบางรอบท่อในระบบ RTPCT ที่อุณหภูมิ 90 °C จะสังเกตเห็นการไหลแบบฟิล์มบางรอบท่อและก้อนของเหลวอย่างชัดเจน โดยเฉพาะ

เมื่ออัตราส่วนสนทัดเพิ่มขึ้นเป็น 10 และ 20 ตัวเลขคอนเดนเซชัน (Co) แสดงความสัมพันธ์กับกระบวนการควบแน่นของสารที่ใช้งานในส่วนควบแน่น ส่งผลต่อลักษณะการไหล เช่น การควบแน่นเป็นหยดเล็กๆ และการควบแน่นเป็นฟิล์มบางในอุณหภูมิสูงของ RTPCT สารทำงานที่ใช้งาน เช่น น้ำที่ผสมอนุภาคนาโนเงิน ให้การไหลที่มีเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากฟิล์มของเหลวบางบนผนังลดลง เมื่อค่า Co ลดลง ทำให้ของเหลวสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างเป็นระเบียบ [204] วัสดุที่มีคุณสมบัติทางความร้อนแตกต่างกัน เช่น น้ำที่ผสมกับอนุภาคนาโนเงิน กรดโอเลอิก และโพแทสเซียมโอเลต สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนได้ ฟิล์มของเหลวที่บางลงบนผนังและการระเหยที่มีประสิทธิภาพส่งผลให้ค่าตัวเลขควบแน่น (Co) สูงขึ้น และทำให้การถ่ายโอนความร้อนในส่วนควบแน่นมีประสิทธิภาพมากขึ้น [205] การทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่แตกต่างกันส่งผลต่อลักษณะการไหล [206] ที่อุณหภูมิ 50 ℃ ไม่พบการไหลที่ชัดเจน แต่ที่อุณหภูมิ 70 ℃ และ 90 ℃ จะสังเกตเห็นการไหลแบบหยดเล็กๆ การไหลแบบฟิล์มบาง และการไหลแบบย้อนกลับเป็นสายเล็กๆยาว [114] อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 และ 20 รวมถึงการเติมวัสดุนาโนนำไปสู่การไหลแบบฟอง และการไหลแบบโพรง ในส่วนทำระเหย ส่วนควบแน่นแสดงลักษณะการไหลที่ชัดเจนมากขึ้น รวมถึงการเคลื่อนไหวแบบผันผวน การควบแน่นเป็นหยดเล็กๆ และการควบแน่นเป็นฟิล์มบาง ซึ่งมีความสำคัญต่อการถ่ายโอนความร้อน ฟิล์มของเหลวบางๆ ในระหว่างการควบแน่นช่วยเพิ่มพื้นที่การถ่ายโอนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของ RTPCT สูงขึ้น

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

4.6 แผนภูมิรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT)

การทดสอบเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลวและไอ เส้นสัมผัสเปียก ขนาด X และ Y 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด AR 5, 10, และ 20 ความยาวส่วนควบแน่น 126, 252, และ 504 mm สารทำงาน 1.น้ำปราศจากไอออน (DI) 2.น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3.เอทานอล มุมเอียง 70, 80, และ 90° และอุณหภูมิ 50, 70, และ 90 °C ผลการทดลองสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหล ภายในโดม (Dome) โดยแบ่งเป็นช่วงขอบเขต 2 ช่วง คือ 1 ขอบเขตของเหลว และ 2 ขอบเขตของไอ แสดงในภาพประกอบ 4.32



ภาพประกอบ 4.32 แผนภูมิรูปแบบการไหลภายในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ RTPCT โดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลวและไอ

การทดสอบรูปแบบการไหลของส่วนทำระเหย

ขอบเขตของเหลว 1 เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) (AR 5, Le 126 mm, มุมเอียง 70, 80, 90°) อุณหภูมิ 50, 70, 90 °C น้ำปราศจากไอออน (DI) พบการไหลแบบฟอง, ก้อน, และโพรง ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ต่ำสุด การเกิดฟองยากและการไหลช้า เมื่อใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) พบการไหลแบบฟอง และโพรง ค่าโมเมนตัมฟลักซ์สูงสุด การถ่ายเทความร้อนและการเกิดฟองมีประสิทธิภาพมากกว่า สำหรับ เอทานอล พบการไหลแบบฟอง และโพรง ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ปานกลาง การเกิดฟองและระเหยง่ายกว่าเนื่องจากความร้อนแฝงต่ำ

การทดสอบรูปแบบการไหลของส่วนควบแน่น

ขอบเขตของไอ 2 เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) (AR 5, Lc 126 mm, มุมเอียง 70, 80, 90°) อุณหภูมิ 50, 70, 90 °C น้ำปราศจากไอออน (DI) พบการไหลแบบหยด, ฟิล์ม, และย้อนกลับ ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ต่ำสุด เมื่อใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) พบการไหลแบบผันผวน, หยด, และย้อนกลับ ค่าโมเมนตัมฟลักซ์สูงสุด สำหรับ เอทานอล พบการไหลแบบหยด, ฟิล์ม, และย้อนกลับ ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ปานกลางแต่สูงกว่าน้ำปราศจากไอออน (DI) เล็กน้อย. AR 5 ช่วยให้สารทำงานเคลื่อนที่เร็วขึ้นเนื่องจากความยาวสั้น

การทดสอบรูปแบบการไหลของส่วนทำระเหย

ขอบเขตของเหลว 1 เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) (AR 10, Le 252 mm, มุมเอียง 70, 80, 90°) อุณหภูมิ 50, 70, 90 °C น้ำปราศจากไอออน (DI) พบการไหลแบบฟอง, ก้อน, โพรง, วงแหวน และที่อุณหภูมิ 90 °C มุมเอียง 70 และ 80° พบการไหลแบบแยกชั้น ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ต่ำสุด เมื่อใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) พบการไหลแบบฟองและโพรง ค่าโมเมนตัมฟลักซ์สูงสุด สำหรับเอทานอล พบการไหลแบบฟอง และโพรง ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ต่ำแต่สูงกว่าน้ำปราศจากไอออน (DI). AR ที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรของเหลวในส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นและการระเหยช้า

การทดสอบรูปแบบการไหลของส่วนควบแน่น

ขอบเขตของไอ 2 เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) (AR 10, Lc 252 mm, มุมเอียง 70, 80, 90°) อุณหภูมิ 50, 70, 90 °C น้ำปราศจากไอออน (DI) พบการไหลแบบหยด, ฟิล์ม, และย้อนกลับ ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอและของเหลวต่ำสุด เมื่อใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผง

เงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) การเพิ่มสารผสมเงินนาโนและสารอื่นๆ ทำให้เกิดการไหลแบบผันผวน,หยด, ย้อนกลับ บนผิวหน้าเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม เนื่องจากแรงเฉือนจากการไหลตรงข้ามของไอและของเหลว สำหรับ เอทานอล พบการไหลแบบหยด, ฟิล์ม, และย้อนกลับ ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ปานกลางแต่สูงกว่า น้ำปราศจากไอออน (DI) เล็กน้อย. AR 10 สารทำงานเคลื่อนที่ช้าเนื่องจากความยาวที่เพิ่มขึ้น

การทดสอบรูปแบบการไหลของส่วนทำระเหย

ขอบเขตของเหลว 1 เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) (AR 20, Le 504 mm มุมเอียง 70, 80, 90°) อุณหภูมิ 50, 70, 90 °C น้ำปราศจากไอออน (DI) พบการไหลแบบฟอง, ก้อน, โพรง, และวงแหวน อุณหภูมิ 90 °C มุมเอียง 70 และ 80° พบการไหลแบบแยกชั้น ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ต่ำสุดเมื่อเทียบเมื่อใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) การผสมนาโนซิลเวอร์และโพแทสเซียมโอลีเอตทำให้เกิด การไหลแบบฟอง และโพรง พร้อมค่าโมเมนตัมฟลักซ์สูงสุด ส่วนเอทานอล มีค่าโมเมนตัมฟลักซ์ปานกลาง เมื่อเปรียบกับนักวิจัยที่ขนาดความยาวท่อใกล้เคียงกัน สำหรับสารทำงาน คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) พบ การไหลแบบฟอง, ก้อน, โพรง, วงแหวน และ การไหลแบบพุ่ง ให้โมเมนตัมฟลักซ์สูงสุด [207], [208]

การทดสอบรูปแบบการไหลของส่วนควบแน่น

ขอบเขตของไอ 2 เทอร์โมไซฟอน (RTPCT) (AR 20, Lc 504 mm มุมเอียง 70, 80, 90°) อุณหภูมิ 50, 70, 90 °C น้ำปราศจากไอออน (DI) พบการไหลแบบหยด, ฟิล์ม, และย้อนกลับ ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ต่ำสุด เมื่อใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) พบการไหลแบบผันผวน, หยด, และย้อนกลับ ค่าโมเมนตัมฟลักซ์สูงสุด มีประสิทธิภาพดีที่สุด สำหรับ เอทานอล พบการไหลแบบหยด, ฟิล์ม, และย้อนกลับ ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ปานกลางแต่สูงกว่า สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) สำหรับ AR ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ลดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน เมื่อเปรียบกับนักวิจัยที่ขนาดความยาวท่อใกล้เคียงกัน พบ การไหลแบบฟอง, โพรง และ วงแหวน ให้โมเมนตัมฟลักซ์สูงสุด [207], [208]

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน ขนาดความยาวส่วนควบแน่นที่ต่างกัน 3 ขนาด โดยใช้เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 สารทำงานใช้ 3 ชนิด ได้แก่ 1) น้ำปราศจากไอออน DI 2) น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3) เอทานอล อัตราการเติมสารทำงาน 50 % โดยปริมาตรของส่วนทำระเหย มุมเอียง 70 °,80 ° และ 90° กับแนวระดับ ความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย คือ 50 °C, 70 °C และ 90 °C สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลของสารทำงาน ทดสอบเติมลงไปนั้นที่อุณหภูมิเท่ากัน อัตราการเติมสารเท่ากันสารทำงานที่ให้การถ่ายเทความร้อนได้ดีสุดที่ได้มาจากผลการทดลอง คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) เนื่องจาก การเติมกรดโอเลอิก ลงไปทำให้การกระจายตัวของผงเงินอนุภาคระดับนาโนดีขึ้น คุณสมบัติของกรดโอเลอิก เป็นสารลดแรงตึงผิวและช่วยกระจายผงเงินระดับอนุภาคระดับนาโนซึ่งมีขนาดเล็กให้กระจายตัวในสารอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้ค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น โพแทสเซียมโอลีเอตช่วยลดการจับตัวของอนุภาคนาโน ทำให้สารละลายมีความเสถียรและสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นโดยไม่เกิดการตกตะกอน สามารถเดือดได้ง่ายและให้การถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า สารทำงาน คือ เอทานอล และน้ำปราศจากไอออน (DI) ตามลำดับ

5.1.2 ผลของอัตราส่วนสนทัด ที่อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 จะมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 8.16 kW/m^2 ที่อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 จะมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุด 3.94 kW/m^2 และที่อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 จะมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุด 1.82 kW/m^2 ที่การให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 90 °C ของเครื่องทำความร้อน โดยที่อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุด เพราะอัตราส่วนสนทัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย และในส่วนของรูปแบบการไหลภายในทั้งเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 กรณีรูปแบบการไหลภายในที่ส่วนควบแน่นรูปแบบ

การไหลส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบการไหลแบบฟิล์ม และรูปแบบการไหลแบบหยด กรณีรูปแบบการไหลภายในที่ส่วนทำระเหย รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบการไหลแบบวงแหวน และรูปแบบการไหลแบบโพรง

5.1.3 ผลของความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย การให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 50 °C ของเครื่องทำความร้อน สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) จะไม่เกิดการเดือด และไม่เกิดรูปแบบการไหล เมื่อเพิ่มความร้อนที่ให้แก่ส่วนทำระเหย เป็น 70 และ 90 °C ของเครื่องทำความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยสูงขึ้น สารทำงานจึงเกิดการเดือดและเกิดรูปแบบการไหลที่การให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย 90 °C จะมีความถี่ในการเดือดสูงและความเร็วในการเปลี่ยนรูปแบบการไหลจะสูงไปด้วย อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 8.16 kW/m^2 รองลงมา อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 3.92 kW/m^2 และอัตราส่วนสนทัด (AR) 20 มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 1.82 kW/m^2 ที่มุมเอียง 80° กับแนวระดับ

5.1.4 ผลของมุมเอียง ที่มุมเอียง 80° จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดที่อัตราส่วนสนทัด (AR) 5, 10 และ 20 เมื่อเทียบกับมุมเอียงต่างๆ ที่มุมเอียง 80° การให้ความร้อน 90 °C ของเครื่องทำความร้อน จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรูปแบบการไหลมากที่สุดของ สารทำงานทั้ง 3 ชนิด ซึ่งเปอร์เซ็นต์การเกิดรูปแบบการไหลมากก็จะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้มากในส่วนของ กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น ทุกมุมเอียงส่วนใหญ่จะพบรูปแบบ การไหลแบบฟิล์ม การไหลแบบหยด การไหลแบบผันผวน เป็นหลัก กรณีรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย ทุกมุมเอียงส่วนใหญ่จะพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวนและการไหลแบบโพรงเป็นหลัก

5.1.5 จากผลการศึกษาพบว่า รูปแบบการไหลที่พบในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) กรณีรูปแบบการไหลของส่วนควบแน่น พบรูปแบบ การไหลแบบหยด การไหลแบบฟิล์ม และการไหลแบบย้อนกลับ ตามลำดับโดยรูปแบบการไหลหลัก ๆ 2 ชนิด คือ การไหลแบบฟิล์ม และการไหลแบบหยด กรณีรูปแบบการไหลของส่วนทำระเหย ประกอบไปด้วย รูปแบบการไหลแบบฟอง การไหลแบบก้อน การไหลแบบโพรง และการไหลแบบวงแหวน โดยรูปแบบการไหลหลัก ๆ 2 ชนิด คือ การไหลแบบวงแหวน และการไหลแบบโพรง

5.1.6 แผนภูมิรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ซึ่งเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอและโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว พบว่า แผนภูมิรูปแบบการไหลประกอบไปด้วยบริเวณภายในโดม (Dome) 2 ช่วง คือ ช่วงขอบเขตของเหลว (Liquid) 1 ช่วงขอบเขตของไอ (Vapour) 2 ประกอบไปด้วยช่วงขอบเขต (Liquid) 1 รูปแบบการไหลแบบ การไหลแบบฟอง การไหลแบบก้อน การไหลแบบโพรง และการไหล

แบบวงแหวน ช่วงขอบเขตของไอ (Vapour) 2 รูปแบบการไหลแบบ การไหลแบบหยด การไหลแบบฟิล์ม และการไหลแบบย้อนกลับ สำหรับสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) พบรูปแบบการไหลแบบผันผวน การไหลแบบหยด และการไหลแบบย้อนกลับ ซึ่งพื้นที่รูปแบบการไหลการไหลแบบฟิล์ม จะให้ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอและโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลวสูงที่สุด ของส่วนควบแน่น

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

[1] K. Rongchai and S. Tundee, "Development, testing and design optimisation of a water and R134a based thermosyphon heat exchanger for air-water heat recovery systems," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 39, p. 102453, 2022. doi: 10.1016/j.csite.2022.102453.

[2] S. Thongdang, S. Sichamnan, S. Chokphoemphun, A. Donmuang, and N. Pipatpaiboon, "Case study of design and construction of dehydration for paddy by heat exchanger rectangular two-phase closed thermosyphon(DP-HE/RTPCT)," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 57, p. 103951, 2024. doi: 10.1016/j.csite.2023.103951

[3] R. Suresh kumar, S. Tharves Mohideen, N. Jayanthi, and M. Venkatesh, "Thermal analysis of two-phase closed thermosyphon (TPCT) using nanofluids," *Materials Today: Proceedings,* vol. 26, pp. A1-A5, 2020. doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.700

[4] D. Yılmaz Aydın, E. Çiftçi, M. Gürü, and A. Sözen, "The Impacts of Nanoparticle Concentration and Surfactant Type on Thermal Performance of A Thermosyphon Heat Pipe Working With Bauxite Nanofluid," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects,* vol. 43, no. 12, pp. 1524-1548, 2020. doi: 10.1080/15567036.2020.1800141

[5] D. Choi and K.-Y. Lee, "Experimental study on confinement effect of two-phase closed thermosyphon and heat transfer enhancement using cellulose nanofluid," *Applied Thermal Engineering,* vol. 183, 2021. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116247

[6] Rittidech S., *Heat Pipe Technology, 3rd ed. Mahasarakham: Mahasarakham University*. 2012.

[7] K. P. Reay D., *.: Heat pipe, Theory, Design and Application. 5th Edn. Butterworth-Heinemann, .* 2006.

[8] S. H. Noie, M. R. Sarmasti Emami, and M. Khoshnoodi, "Effect of Inclination Angle and Filling Ratio on Thermal Performance of a Two-Phase Closed Thermosyphon under Normal Operating Conditions," *Heat Transfer Engineering,*

vol. 28, no. 4, pp. 365-371, 2007. doi: 10.1080/01457630601122997

[9] A. H. A. Al-Waeli, M. T. Chaichan, K. Sopian, and H. A. Kazem, "Influence of the base fluid on the thermo-physical properties of PV/T nanofluids with surfactant," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 13, 2019. doi: 10.1016/j.csite.2018.10.001

[10] T. Chompookham, S. Sichamnan, N. Bhuwakietkumjohn, and T. Parametthanuwat, "The rectangular two-phase closed thermosyphon: A case study of two-phase internal flow patterns behaviour for heat performance," *Archives of Thermodynamics,* pp. 223-254-223-254, 2023. doi: 10.24425/ather.2020.134578.

[11] N. Phiphatphaiboon, W. Dangton, S. Thongdang, and M. Meesang, "Thermal performance compairision of rectangular and circular thermosyphon using thermal immaging technics," *Journal of Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology),* vol. 12, no. 24, pp. 36-48, 2020.

[12] N. Phiphatphaiboon., "Heat Pipe History and Applications," *RMUTI Journal,* 5(1), 106-113., (2012, January-June).

[13] K. Wansasueb *et al.*, "Applied machine learning: Performance prediction of heat pipe with mesh wick," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 63, p. 105307, 2024. doi: 10.1016/j.csite.2024.105307

[14] N. Bhuwakietkumjohn and T. Parametthanuwat, "Heat transfer behaviour of silver particles containing oleic acid surfactant: application in a two phase closed rectangular cross sectional thermosyphon (RTPTC)," *Heat and Mass Transfer,* vol. 53, no. 1, pp. 37-48, 2016. doi: 10.1007/s00231-016-1798-1

[15] W. Srimuang, P.Khantikomol, and B. Kritacom, "Waste heat recovery using flat two phase closed thermosyphons (FTPCTs) with nano silver powder – water mixture as working fluid for air pre heater," Rajamangala University of Technology Isan, 2014, pp. 1-2.

[16] S. U. S. J. A. Choi, Eastman, "Enhancing thermal conductivity of fluids with nano-particles," Int. Mech. Eng. Congr. Exhib., vol. 231, pp. 99–106, ," 1995.

[17] Y. Hwang *et al.*, "Production and dispersion stability of nanoparticles in

nanofluids," *Powder Technology,* vol. 186, no. 2, pp. 145-153, 2008. doi: 10.1016/j.powtec.2007.11.020

[18] B. D. M. O. Vekas L, "Magnetic nanofluids stabilized with various chain length surfactants," Rom. Reports Phys," vol. vol. 58, pp. 257–267, 2006.

[19] A. K. Singh and V. S. Raykar, "Microwave synthesis of silver nanofluids with polyvinylpyrrolidone (PVP) and their transport properties," *Colloid and Polymer Science,* vol. 286, no. 14-15, pp. 1667-1673, 2008. doi: 10.1007/s00396-008-1932-9

[20] T. Paramatthanuwat, S. Boothaisong, S. Rittidech, and K. Booddachan, "Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon using de ionized water mixed with silver nano," *Heat and Mass Transfer,* vol. 46, no. 3, pp. 281-285, 2009. doi: 10.1007/s00231-009-0565-y

[21] Sriudom Y., "Flow patterns and heat transfer characteristics of a helical oscillating heat pipe," Mahasarakham University, 2015.

[22] S. Sichamnan, T. Chompookham, and T. Parametthanuwat, "A case study on internal flow patterns of the two-phase closed thermosyphon (TPCT)," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 18, 2020. doi: 10.1016/j.csite.2020.100586

[23] L. G. Asirvatham, S. Wongwises, and J. Babu, "Heat Transfer Performance of a Glass Thermosyphon Using Graphene–Acetone Nanofluid," *Journal of Heat Transfer,* vol. 137, no. 11, 2015. doi: 10.1115/1.4030479

[24] K. Smith, R. Kempers, and A. J. Robinson, "Confinement and vapour production rate influences in closed two-phase reflux thermosyphons Part A: Flow regimes," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 119, pp. 907-921, 2018. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.049

[25] H. Su, T. Li, Y. Jiang, C. Guo, and T. Wang, "Experimental study on visualization of U-shaped array thermosyphon," *Applied Thermal Engineering,* vol. 152, pp. 917-924, 2019. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.12.148

[26] P. Amatachaya and W. Srimuang, "Comparative heat transfer characteristics of a flat two-phase closed thermosyphon (FTPCT) and a conventional two-phase closed thermosyphon (CTPCT)," *International Communications in Heat and*

Mass Transfer, vol. 37, no. 3, pp. 293-298, 2010. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.11.004

[27] W. Srimuang and P. Khantikomol., "Comparative Thermal Performance of Horizontal Closed Loop Flat Heat Pipe (HCLFHP) and Horizontal Closed Loop Circular Heat Pipe (HCLCHP) for Air Pre-heater. ," vol. RMUTI Journal, 6(1), 26-36., (2012, December).

[28] G. Kuznetsov, K. Ponomarev, D. Feoktistov, E. Orlova, H. Ouerdane, and Y. V. Lyulin, "New approach to the heat transfer modeling in the coolant layer on the lower cover of a thermosyphon," *International Journal of Heat Mass Transfer,* vol. 163, p. 120555, 2020. doi: org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120555

[29] W. Dangeton, A. Pattiya, S. Rittidech, and N. Siriwan, "Flow visualization of a miniature loop thermosyphon," *Experimental Heat Transfer,* vol. 26, no. 4, pp. 329-342, 2013. doi: 10.1080/08916152.2012.657743.

[30] j. Klinbun, "Thermosyphons Heat Pipe Cooling," *The Journal of Industrial Technology,* vol. 6, no. 2, pp. 30-35, 2010.

[31] T. Payakaruk, P. Terdtoon, and S. Ritthidech, "Correlations to predict heat transfer characteristics of an inclined closed two-phase thermosyphon at normal operating conditions," *Applied Thermal Engineering,* vol. 20, no. 9, pp. 781-790, 2000. doi: 10.1016/s1359-4311(99)00047-2.

[32] T. Parametthanuwat and S. Rittidech, "Heat transfer characteristics of the two-phase closed thermosyphon (TPCT) containing silver nanofluids with oleic acid surfactant," Mahasarakham University 2012, pp. 33-36.

[33] Anon., "Heat pipes -general information on their use, operation and design, Data Item No. 80013 Engineering Sciences Data Unit, London.," 1980,.

[34] ESDU, "Heat pipe-performance of two-phase closed thermosyphons ". Data Item No. 81038, Engineering Science Data Unit, London," ed, 1981.

[35] S. Sichamnan, N. Pipatpaiboon, T. Chompookham, S. Rittidech, Y. Ding, and T. Parametthanuwat, "Use of silver nanoparticles mixed with deionized water in a rectangular two-phase closed thermosyphon: A case study of the two-phase flow," *Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT),* vol. 19, 2022. doi:

10.5098/hmt.19.24.

[36] W. Srimuang, "Factors affecting the heat transfer characteristics of different geometric cross sectional area thermosyphon (DGCST)," Dissertation, Mahasarakham Uni, 2010.

[37] W. Srimuang, P. Amatachaya, and B. Krittacom, "Thermal performance of a flat two phase closed thermosyphon (FTPCT) with different cross-sectional areas and source temperatures," in *Proc. 10th Int. Heat Pipe Symp. Tamsui, New Taipei City, Taiwan*, 2011, pp. 147-152

[38] S. Sichamnan and T. Chompookham, "Flow patterns and heat transfer characteristic of two-phase closed rectangular cross sectional area thermosyphon," Mahasarakham University, 2019.

[39] X. Huo, L. Chen, Y. Tian, and T. Karayiannis, "Flow boiling and flow regimes in small diameter tubes," *Applied Thermal Engineering,* vol. 24, no. 8-9, pp. 1225-1239, 2004. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2003.11.027.

[40] P. Terdtoon and M. J. C. M. U. Chailungkar, "Boiling," 2001.

[41] G. F. Hewitt and D. Roberts, "Studies of two-phase flow patterns by simultaneous x-ray and flast photography," Atomic Energy Research Establishment, Harwell, England (United Kingdom)1969.

[42] D. Seo, J. H. Seo, J. Shim, Y. Nam, and J. Lee, "Effect of Marangoni condensation on the heat transfer performance of two-phase closed thermosyphons," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 202, p. 123669, 2023. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123669.

[43] O. Ghaffari *et al.*, "Pushing the limits of air cooling with novel two-phase prototypes for high power microprocessors," in 2023 *22nd IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, 2023, pp. 1-6: IEEE. doi: 10.1109/itherm55368.2023.10177612.

[44] A. Leipertz and A. P. Fröba, "Improvement of condensation heat transfer by surface modifications," *Heat Transfer Engineering,* vol. 29, no. 4, pp. 343-356, 2008. doi: 10.1080/01457630701821563.

[45] J. M. Ludwicki, F. L. Robinson, and P. H. Steen, "Switchable Wettability for

Condensation Heat Transfer," *ACS Appl Mater Interfaces,* vol. 12, no. 19, pp. 22115-22119, May 13 2020. doi: 10.1021/acsami.0c01523

[46] X. Hu, Q. Yi, X. Kong, and J. Wang, "A review of research on dropwise condensation heat transfer," *Applied Sciences,* vol. 11, no. 4, p. 1553, 2021. doi: 10.3390/app11041553.

[47] Z. Chen, Y. Fan, Y. Utaka, and Y. Zhao, "Self-sustained movement of condensate drop on uniform temperature surface during Marangoni dropwise condensation," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 142, p. 118468, 2019. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118468.

[48] Y. He, C. Hu, X. Hu, H. Wang, and D. Tang, "Assessing the enhancements in thermal performance of two-phase thermosyphon loops through riser wettability optimization," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 218, p. 124731, 2024. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124731.

[49] R. Wang and D. S. Antao, "Capillary-Enhanced Filmwise Condensation in Porous Media," *Langmuir,* vol. 34, no. 46, pp. 13855-13863, Nov 20 2018. doi: 10.1021/acs.langmuir.8b02611

[50] J.-W. Ko, D.-S. Jeon, Y.-L. Kim, and S.-C. Kim, "Experimental study on film condensation heat transfer characteristics of R1234ze (E) and R1233zd (E) over horizontal plain tubes," *Journal of Mechanical Science Technology,* vol. 32, pp. 527-534, 2018. doi: 10.1007/s12206-017-1254-2.

[51] T. Gambaryan-Roisman and P. Stephan, "Flow and stability of rivulets on heated surfaces with topography," *Journal of Heat Transfer,* 2009. doi: 10.1115/1.3056593.

[52] G. Jones and J. Cai, "Analysis of a transient asymmetrically heated/cooled open thermosyphon," *Journal of Heat Transfer,* 1993. doi: 10.1115/1.2910732.

[53] N. Kammuang-Lue, P. Sakulchangsatjatai, and P. Terdtoon, "Effect of working orientations, mass flow rates, and flow directions on thermal performance of annular thermosyphon," in 2017 *8th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE)*, 2017, pp. 171-178: IEEE. doi: 10.1109/icmae.2017.8038637.

[54] U. Naseem, M. B. Awan, B. Saeed, N. Abbas, S. Nawaz, and M. Hussain, "Experimental investigation of flow instabilities in a wide gap turbulent rotating Taylor-Couette flow," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 14, p. 100449, 2019. doi: 10.1016/j.csite.2019.100449.

[55] B. Hof, A. de Lozar, M. Avila, X. Tu, and T. M. Schneider, "Eliminating turbulence in spatially intermittent flows," *Science,* vol. 327, no. 5972, pp. 1491-4, Mar 19 2010. doi: 10.1126/science.1186091

[56] R. A. A. Babat and A. Sözen, "Experimental Study on Improving Heat Transfer Ability of a Heat Pipe Utilizing Iron Oxide-Ferric Oxide Hybrid and Nickel Ferrite Mono-Magnetic Nanofluids," *Heat Transfer Research,* vol. 54, no. 6, 2023. doi: 10.1615/heattransres.v54.i6.10.

[57] D. Moxey and D. Barkley, "Distinct large-scale turbulent-laminar states in transitional pipe flow," *Proc Natl Acad Sci U S A,* vol. 107, no. 18, pp. 8091-6, May 4 2010. doi: 10.1073/pnas.0909560107

[58] D. Seo, J. Shim, D. H. Shin, Y. Nam, and J. Lee, "Dropwise condensation of acetone and ethanol for a high-performance lubricant-impregnated thermosyphon," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 181, p. 121871, 2021. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121871.

[59] J. Wang, J. Yan, S. Hu, and J. Liu, "Marangoni condensation heat transfer of water–ethanol mixtures on a vertical surface with temperature gradients," *International Journal of Heat Mass Transfer,* vol. 52, no. 9-10, pp. 2324-2334, 2009. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.11.011.

[60] S. Sett *et al.*, "Stable Dropwise Condensation of Ethanol and Hexane on Rationally Designed Ultrascalable Nanostructured Lubricant-Infused Surfaces," *Nano Lett,* vol. 19, no. 8, pp. 5287-5296, 2019. doi: 10.1021/acs.nanolett.9b01754

[61] C. Zimmermann, N. Lubos, and S. Kabelac, "Experimental Heat Transfer Coefficients for Zeotropic Mixture Condensation of Hexamethyldisiloxane/Octamethyltrisiloxane and Ethanol/Hexamethyldisiloxane," *Chemie Ingenieur Technik,* vol. 96, no. 8, pp.

1123-1130, 2024. doi: 10.1002/cite.202300121.

[62] N. Doppelhammer *et al.*, "Generation and Observation of Long-Lasting and Self-Sustaining Marangoni Flow," *Langmuir,* vol. 39, no. 22, pp. 7804-7810, 2023. doi: 10.1021/acs.langmuir.3c00634

[63] Y. Kim, D. H. Shin, J. S. Kim, S. M. You, and J. Lee, "Visualization of Two-phase Bursting Flow Effect on the Two-Phase Closed Thermosyphon," *Journal of Heat Transfer,* vol. 141, no. 10, p. 100903, 2019. doi: 10.1115/1.4044587.

[64] P. Katre, P. Gurrala, S. Balusamy, S. Banerjee, and K. C. Sahu, "Evaporation of sessile ethanol-water droplets on a critically inclined heated surface," *International Journal of Multiphase Flow,* vol. 131, p. 103368, 2020. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103368.

[65] T. Parametthanuwat, S. Rittidech, and A. Pattiya, "A correlation to predict heat-transfer rates of a two-phase closed thermosyphon (TPCT) using silver nanofluid at normal operating conditions," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 53, no. 21-22, pp. 4960-4965, 2010. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.05.046.

[66] W. Yu, D. M. France, S. U. Choi, and J. L. Routbort, "Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications," Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States)2007.

[67] S. Liu, J. Li, and Q. Chen, "Visualization of flow pattern in thermosyphon by ECT," in *AIP Conference Proceedings*, 2007, vol. 914, no. 1, pp. 775-785: American Institute of Physics. doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2007.06.012.

[68] N. Kattan, J. Thome, and D. Favrat, "Flow boiling in horizontal tubes: part 1—development of a diabatic two-phase flow pattern map," *Journal of Heat Transfer*, 1998. doi: 10.1115/1.2830037.

[69] N. Kattan, J. Thome, and D. Favrat, "Flow boiling in horizontal tubes: Part 2—New heat transfer data for five refrigerants," *Journal of Heat Transfer,* 1998. doi: 10.1115/1.2830038.

[70] I. G. Kim, K. M. Kim, Y. S. Jeong, and I. C. Bang, "Flow visualization and heat transfer performance of annular thermosyphon heat pipe," *Applied Thermal*

Engineering, vol. 125, pp. 1456-1468, 2017. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.07.116.

[71] S. Thongdaeng, N. Pipatpaiboon, and A. Donmuang, "Visualization and heat transfer in a closed loop thermosyphon with a check valve," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 22, p. 100758, 2020. doi: 10.1016/j.csite.2020.100758.

[72] K. Booddachan, N. Bhuwakietkumjohn, and T. Parameethanuwat, "Advanced Loop Thermosiphon With Check Valve (ALT/CV): Thermal Performance and Behavior," *International Journal of Renewable Energy Development,* vol. 10, no. 2, pp. 283-295, 2021. doi: 10.14710/ijred.2021.33805

[73] K. Booddachan, N. Bhuwakietkumjohn, and T. Parametthanuwat, "Advanced Loop Thermosiphon With Check Valve (ALT/CV): Thermal Performance and Behavior," *International Journal of Renewable Energy Development,* vol. 10, no. 2, 2021. doi: 10.14710/ijred.2021.33805.

[74] J. S. Kim, Y. Kim, D. H. Shin, S. M. You, and J. Lee, "Heat transfer and flow visualization of a two-phase closed thermosiphon using water, acetone, and HFE7100," *Applied Thermal Engineering,* vol. 187, p. 116571, 2021. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.116571.

[75] T. Parametthanuwat, S. Rittidech, A. Pattiya, Y. Ding, and S. Witharana, "Application of silver nanofluid containing oleic acid surfactant in a thermosyphon economizer," *Nanoscale Res Lett,* vol. 6, no. 1, p. 315, Apr 7 2011. doi: 10.1186/1556-276X-6-315

[76] Y. Cai, X. Hu, J. Lu, Y. Li, D. Tang, and C. Hu, "Impact of working fluid properties on heat transfer and flow characteristics of two-phase loop thermosyphon with high filling ratios," *International Journal of Heat Mass Transfer,* vol. 238, p. 126482, 2025. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.126482.

[77] J. Qu, Y. Zhao, Y. Hua, W. Yang, and S. Gao, "Comparative study of operational characteristics for two-phase loop thermosyphons with and without pump assistant: Heat transfer performance and high-speed visualization observation," *Applied Thermal Engineering,* vol. 271, p. 126382, 2025. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.126382

[78] S. Kang and J. Lee, "Confinement effect in two-phase closed thermosyphon," *International Communications in Heat and Mass Transfer,* vol. 164, p. 108938, 2025. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2025.108938

[79] A. K. Shukla and S. Kumar, "A novel method for introducing asymmetry in pulsating heat pipes to enhance performance," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 238, p. 126436, 2025. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.126436

[80] Z. Tong, W. Wang, P. Wang, Z. Han, H. Yu, and S. Hu, "Effect of valve regulation on the operating state of a CO2 two-phase thermosyphon loop," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 69, p. 106055, 2025. doi: 10.1016/j.csite.2025.106055

[81] L. Chu *et al.*, "Thermal performance of a novel hybrid heat pipe with composite heat transfer characteristics," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 236, p. 126261, 2025. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.126261

[82] A. K. Shukla and S. Kumar, "Effect of dual diameter length on the performance characteristics of a single loop pulsating heat pipe," *International Communications in Heat and Mass Transfer,* vol. 164, p. 108898, 2025. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2025.108898

[83] J. Zhao, Q. Bi, T. Wang, T. Zhang, and F. Feng, "Experimental study on stability and heat transfer characteristics of separated heat pipe with a compressible volume condenser," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 64, p. 105511, 2024. doi: 10.1016/j.csite.2024.105511

[84] A. K. Shukla and S. Kumar, "Influence of initial pressure on the flow dynamics and thermal behavior of a single loop pulsating heat pipe," *International Journal of Thermal Sciences,* vol. 211, p. 109720, 2025. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2025.109720

[85] T. Parametthanuwat, N. Bhuwakietkumjohn, S. Rittidech, and Y. Ding, "Experimental investigation on thermal properties of silver nanofluids," *International Journal of Heat Fluid Flow,* vol. 56, pp. 80-90, 2015. doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2015.07.005.

[86] k. khaongam and N. Srihajong, "Heat transfer characteristics of thermosyphon

Case study of modifying inclination angle of evaporator and condenser sections," Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus 2015.

[87] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*. Wiley New York, 1996.

[88] M. Kaya, "An experimental investigation on thermal efficiency of two-phase closed thermosyphon (TPCT) filled with CuO/water nanofluid," *Engineering Science and Technology an International Journal,* vol. 23, no. 4, pp. 812-820, 2020. doi: 10.1016/j.jestch.2020.06.006.

[89] S. A. Bell, "A beginner's guide to uncertainty of measurement," 2001.

[90] N. Pipatpaiboon, K. Sriprateep, B. Bupphachote, and S. Rittidech, "The study of a cashew nut oven using a thermosyphon heat exchanger using nut shell as fuel," *Journal of Applied Sciences Research,* no. October, pp. 4907-4916, 2012.

[91] N. Pipatpaiboon, S. Rittidech, and P. Meena, "Experimental study of a thermosyphon heat exchanger (TPHE) in a bio-diesel factory in Thailand," *Arabian Journal for Science and Engineering,* vol. 37, no. 7, pp. 2047-2060, 2012. doi: 10.1007/s13369-012-0310-6.

[92] K. Negishi and T. Sawada, "Heat transfer performance of an inclined two-phase closed thermosyphon," *International Journal of Heat Mass Transfer,* vol. 26, no. 8, pp. 1207-1213, 1983. doi: 10.1016/s0017-9310(83)80175-6.

[93] P. Nemec and M. Malcho, "Working fluid flow visualization in gravity heat pipe," in *EPJ Web of Conferences*, 2016, vol. 114, p. 02083: EDP Sciences. doi: 10.1051/epjconf/201611402083.

[94] V. Guichet and H. Jouhara, "Condensation, evaporation and boiling of falling films in wickless heat pipes (two-phase closed thermosyphons): A critical review of correlations," *International Journal of Thermofluids,* vol. 1-2, p. 100001, 2020. doi: 10.1016/j.ijft.2019.100001

[95] J. Ma, M. Li, J. Lu, C. Yu, D. Tang, and Y. He, "Visualized-experimental assessment on a two-phase thermosyphon loop downcomer state with wide range of filling ratios," *Applied Thermal Engineering,* vol. 242, p. 122497, 2024. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2024.122497.

[96] H. KUSUDA and H. IMURA, "Stability of a liquid film in a counter-current annular two-phase flow: mainly on a critical heat flux in a two-phase thermosyphon," *Bulletin of JSME,* vol. 17, no. 114, pp. 1613-1618, 1974. doi: 10.1299/kikai1938.40.1082.

[97] A. Yuldashov, D. K. Dustova, A. Duskarayev, and E. Rustamov, "Interaction of the fluid film with the oncoming steam flow in the thermosiphon transport zone," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1138, no. 1, p. 012015: IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/1138/1/012015.

[98] V. V. e. Kuznetsov, O. V. Vitovskii, and V. A. Krasovskii, "An experimental investigation of modes of flow under conditions of evaporation of liquid on a vertical heating surface," *High Temperature,* vol. 45, pp. 68-75, 2007. doi: 10.1134/s0018151x07010099.

[99] A. Nee and A. Nurpeiis, "Mathematical Modeling of Hydrodynamic and Heat Transfer in a Two-Phase Thermosyphon," in *EPJ Web of Conferences*, 2016, vol. 110, p. 01003: EDP Sciences

[100] M. Zhang, Z. Liu, and G. Ma, "The experimental investigation on thermal performance of a flat two-phase thermosyphon," *International Journal of Thermal Sciences,* vol. 47, no. 9, pp. 1195-1203, 2008. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2007.10.004.

[101] H. Nguyen-Chi and M. Groll, "Entrainment or flooding limit in a closed two-phase thermosyphon," *Journal of Heat Recovery Systems,* vol. 1, no. 4, pp. 275-286, 1981. doi: 10.1016/0198-7593(81)90038-2.

[102] D. S. Antao, K. L. Wilke, J. H. Sack, Z. Xu, D. J. Preston, and E. N. Wang, "Jumping droplet condensation in internal convective vapor flow," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 163, p. 120398, 2020. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120398.

[103] K. Ponomarev and A. Abedtazehabadi, "Experimental investigation of the temperature distribution along the two-phase thermosyphon height and the condensation type on the top cover," in *AIP Conference Proceedings*, 2021, vol. 2337, no. 1: AIP Publishing

[104] K. Yamaguchi, M. Miki, M. Izumi, Y. Murase, T. Oryu, and T. Yanamoto, "The effect of condensation area and operating temperature on heat transfer capacity of a closed loop thermosyphon cooling system for HTS machinery," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 278, no. 1, p. 012024: IOP Publishing

[105] Z. Li and Y. Zhang, "Numerical simulation of phase transition and heat transfer in two-phase closed thermosyphon," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1325, no. 1, p. 012033: IOP Publishing

[106] M. S. El-Genk and H. H. Saber, "Heat transfer correlations for liquid film in the evaporator of enclosed, gravity-assisted thermosyphons," *Journal of Heat Transfer-Transactions of the Asme,* vol. 120, no. 2, pp. 477-484, May 1998. doi: Doi 10.1115/1.2824273

[107] D. Seo *et al.*, "Enhancing heat transfer performance of a two-phase closed thermosyphon using a polymer-coated hydrophobic condenser," *Applied Thermal Engineering,* vol. 196, p. 117350, 2021. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117350.

[108] R. Parin, "Investigation of dropwise condensation on engineered surfaces," degli Studi di Padova, 2019.

[109] N. V. Upot, K. Fazle Rabbi, S. Khodakarami, J. Y. Ho, J. Kohler Mendizabal, and N. Miljkovic, "Advances in micro and nanoengineered surfaces for enhancing boiling and condensation heat transfer: a review," *Nanoscale Adv,* vol. 5, no. 5, pp. 1232-1270, Feb 28 2023. doi: 10.1039/d2na00669c

[110] M. Tancon *et al.*, "Investigation of surface inclination effect during dropwise condensation of flowing saturated steam," *International Journal of Thermal Sciences,* vol. 196, p. 108738, 2024. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2023.108738.

[111] K.-I. Han and D.-H. Cho, "A study on the performance of condensation heat transfer for various working fluid of two-phase closed thermosyphons with various helical grooves," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B,* vol. 29, no. 1, pp. 116-122, 2005. doi: 10.3795/ksme-b.2005.29.1.116.

[112] R. Andrzejczyk, "Experimental investigation of the thermal performance of a wickless heat pipe operating with different fluids: water, ethanol, and ses36. analysis of influences of instability processes at working operation parameters," *Energies,* vol. 12, no. 1, p. 80, 2018. doi: 10.3390/en12010080.

[113] K. Sadeghi, M. Kahani, M. H. Ahmadi, and M. Zamen, "CFD Modelling and Visual Analysis of Heat Transfer and Flow Pattern in a Vertical Two-Phase Closed Thermosyphon for Moderate-Temperature Application," *Energies,* vol. 15, no. 23, p. 8955, Dec 2022. doi: 10.3390/en15238955

[114] G. Kuznetsov, K. Ponomarev, D. Feoktistov, E. Orlova, Y. V. Lyulin, and H. Ouerdane, "Heat transfer in a two-phase closed thermosyphon working in Polar Regions," *Thermal Science and Engineering Progress,* vol. 22, p. 100846, 2021. doi: 10.1016/j.tsep.2021.100846.

[115] A. Varughese, A. B. Solomon, B. Raj, M. Sharifpur, and J. P. Meyer, "Heat transfer characteristics and flow visualization of anodized flat thermosiphon," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part E-Journal of Process Mechanical Engineering,* vol. 234, no. 2, pp. 182-192, 2020. doi: 10.1177/0954408920905400

[116] D. H. Nguyen and H. S. Ahn, "A comprehensive review on micro/nanoscale surface modification techniques for heat transfer enhancement in heat exchanger," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 178, p. 121601, 2021. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121601

[117] B. Zhang, Q. Li, Y. Wang, J. Zhang, J. Song, and F. Zhuang, "Experimental investigation of nitrogen flow boiling heat transfer in a single mini-channel," *Journal of Zhejiang University,* vol. 21, pp. 147-166, 2020. doi: 10.1631/jzus.a1900468.

[118] F. A. F. Astuti and A. R. Fachrudin, "PENGARUH PANJANG KONDENSOR TERHADAP KINERJA TERMAL THERMOSYPHON," *INFO-TEKNIK,* vol. 20, no. 2, pp. 181-192. doi: 10.20527/infotek.v20i2.7714.

[119] H. KUSUDA and H. IMURA, "Boiling heat transfer in an open thermosyphon: Report 1, an experiment with water," *Bulletin of JSME,* vol. 16, no. 101, pp.

1723-1733, 1973. doi: 10.1299/jsme1958.16.1723.

[120] R. Kong, T. Deethayat, A. Asanakham, and T. Kiatsiriroat, "Heat transfer phenomena on waste heat recovery of combustion stack gas with deionized water in helical coiled heat exchanger," *Case studies in thermal engineering,* vol. 12, pp. 213-222, 2018. doi: 10.1016/j.csite.2018.04.010.

[121] R. Kalantarpour and K. Vafai, "The effect of self-rewetting fluids and surface wettability modification on the thermal performance of a two-phase flat-shaped thermosyphon," *ASME Journal of Heat Mass Transfer,* vol. 145, no. 3, p. 033001, 2023. doi: 10.1115/1.4055620.

[122] R. Srikanth, R. S. Nair, and C. Balaji, "Thermosyphon assisted melting of PCM inside a rectangular enclosure: A synergistic numerical approach," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2016, vol. 745, no. 3, p. 032130: IOP Publishing

[123] Y. KOITO, T. MAKI, A. SUZUKI, and K. SATO, "Operational characteristics of a JEST-type loop thermosyphon with HFE working fluid (Effect of initial liquid level)," *Journal of Thermal Science Technology,* vol. 17, no. 3, pp. 22-00077-22-00077, 2022. doi: 10.1299/jtst.22-00077.

[124] Z. Zhao, Y. Zhang, Y. Zhang, Y. Zhou, and H. Hu, "Numerical study on the transient thermal performance of a two-phase closed thermosyphon," *Energies,* vol. 11, no. 6, p. 1433, 2018. doi: 10.3390/en11061433.

[125] T. Kiatsiriroat, A. Nuntaphan, and J. Tiansuwan, "Thermal performance enhancement of thermosyphon heat pipe with binary working fluids," *Experimental Heat Transfer,* vol. 13, no. 2, pp. 137-152, 2000. doi: 10.1080/089161500269517.

[126] N. Pipatpaiboon, T. Parametthanuwat, N. Bhuwakietkumjohn, S. Rittidech, and S. Sichamnan, "Applications of Heart Shaped Glass Spoon Loop Oscillating Heat Pipe (HSGS/LOHP) for Making Coffee Stirrer," *International Journal of Heat and Technology,* vol. 40, no. 1, pp. 258-266, 2022. doi: 10.18280/ijht.400130

[127] Y. Zhou, M. Zhang, W. Pei, K. Wu, and G. Li, "Numerical modeling and cooling performance evaluation of a pressure-driven two-phase closed thermosyphon with a long horizontal evaporator," *Renewable Energy,* vol. 222, p. 119804, 2024.

doi: 10.1016/j.renene.2023.119804.

[128] J. Lu and Y. Hao, "Experimental investigation of flow and heat transfer characteristics of latent functionally thermal fluid in mini-tube," in *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 2009, vol. 43826, pp. 1673-1680

[129] N. R. Kuppusamy, L. P. Seng, and D. K. C. Wei, "Experimental Analysis of Novel Triple Fluid Heat Exchanger for Hybrid Cooling Application," in 2019 *IEEE 21st Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)*, 2019, pp. 781-785: IEEE

[130] S. Jengsooksawat, S. Rittidech, and K. Booddachan, "Loop Thermosyphon with Vapor Chamber Installation for Energy Thrift in a Chilli Oven," *Journal of Engineering Thermophysics,* vol. 27, pp. 119-135, 2018. doi: 10.1134/s1810232818010125.

[131] H. Chen, Z. Wang, and W.-l. Cheng, "Heat transfer limit prediction of Ω-grooved bending heat pipe at small inclination angle," *Applied Thermal Engineering,* vol. 268, p. 125929, 2025. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.125929

[132] A. Padovan, S. Bortolin, M. Rossato, S. Filippeschi, and D. Del Col, "Vaporization heat transfer in a small diameter closed two-phase thermosyphon," *Journal of Heat Transfer,* vol. 141, no. 9, p. 091811, 2019. doi: 10.1115/1.4043015.

[133] C. A. Pappas, P. M. De Cecchis, D. A. Jordan, and P. M. Norris, "The effect of fill volume on heat transfer from air-cooled thermosyphons," *Journal of heat transfer,* vol. 135, no. 4, p. 044504, 2013. doi: 10.1115/1.4023039.

[134] Z. Wang *et al.*, "Experimental study on heat transfer properties of gravity heat pipes in single/hybrid nanofluids and inclination angles," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 34, p. 102064, 2022. doi: 10.1016/j.csite.2022.102064

[135] Y. Wu, Z. Zhang, W. Li, and D. Xu, "Effect of the inclination angle on the steady-state heat transfer performance of a thermosyphon," *Applied Sciences,* vol. 9, no. 16, p. 3324, 2019. doi: 10.3390/app9163324.

[136] C. Huang, C.-W. Yu, R. Chen, C.-T. Tzeng, and C.-M. Lai, "Experimental observation of natural convection heat transfer performance of a rectangular thermosyphon," *Energies,* vol. 12, no. 9, p. 1702, 2019. doi: 10.3390/en12091702.

[137] K. Hosseinzadeh, M. E. Moghaddam, M. Hatami, D. Ganji, F. Ommi, and M. Transfer, "Experimental and numerical study for the effect of aqueous solution on heat transfer characteristics of two phase close thermosyphon," *International Communications in Heat,* vol. 135, p. 106129, 2022. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2022.106129.

[138] A. Voirand, S. Lips, and V. Sartre, "Heat transfer and flow visualizations in a flat confined two-phase thermosyphon," *International Journal of Heat Mass Transfer,* vol. 148, p. 119056, 2020. doi: org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119056

[139] R. Kalantarpour, K. Vafai, and M. Transfer, "Enhancing heat transfer in thermosyphons: The role of self-rewetting nanofluids, and filling ratios for improved performance," *International Journal of Heat,* vol. 223, p. 125284, 2024. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125284.

[140] Z. Xu, Y. Zhang, B. Li, C.-C. Wang, and Y. Li, "The influences of the inclination angle and evaporator wettability on the heat performance of a thermosyphon by simulation and experiment," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 116, pp. 675-684, 2018. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.09.028

[141] S. Baek, C. Park, S. Lee, and Y. Sung, "Enhancing thermal performance of two-phase closed thermosyphons by inhibiting geyser boiling: Synergistic effects of carbon nanotube nanofluids," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 66, p. 105764, 2025. doi: 10.1016/j.csite.2025.105764.

[142] M. Zhang, Y. Lai, W. Pei, and L. Jin, "Effect of inclination angle on the heat transfer performance of a two-phase closed thermosyphon under low-temperature conditions," *Journal of Cold Regions Engineering,* vol. 28, no. 4, p. 04014007, 2014. doi: 10.1061/(asce)cr.1943-5495.0000074.

[143] M. Zhang, Z. Yan, W. Pei, Y. Lai, Y. Qin, and F. Yu, "Experimental study on the startup and heat transfer behaviors of a two-phase closed thermosyphon at subzero temperatures," *International Journal of Heat Mass Transfer,* vol. 190, p. 122283, 2022. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122283.

[144] Y. Hua, J. Qu, W. L. Yang, T. Zhang, and Y. Zhao, "Thermal characteristics of a two-phase loop thermosyphon with micro-grooved structures inside the evaporator," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 224, p. 125357, Jun 1 2024. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125357

[145] N. Bhuwakietkumjohn and T. Parametthanuwat, "Thermal Performance of a Top Heat Mode Closed-Loop Oscillating Heat Pipe with a Check Valve (Thmclohp/Cv)," *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics,* vol. 56, no. 3, pp. 479-485, May 2015. doi: 10.1134/S0021894415030189

[146] A. J. Balihar, A. Karmakar, A. Kumar, S. Minj, and P. J. Sangso, "Analysis of Thermal Performance in a Two-phase Thermosyphon loop based on Flow Visualization and an Image Processing Technique," *Heat Transfer Research,* vol. 55, no. 12, pp. 71-89, 2024. doi: 10.1615/heattransres.2024052009.

[147] Y. Xu, Y. Xue, S. Tang, D. Zhang, and W. Cai, "Experimental investigation on thermal characteristics and performance enhancement of pulsating heat pipe with ultra-maximum hydraulic diameter," *Applied Thermal Engineering,* vol. 267, p. 125702, 2025. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.125702.

[148] S. Rittidech and K. Phalasin, "Effect of Geometry and Dimensionless Parameters on Heat Transfer Characteristics of a Closed–end Oscillating Heat-pipe at Vertical Position," *American Journal of Applied Sciences,* vol. 2, no. 11, pp. 1493-1498, 2005. doi: 10.3844/ajassp.2005.1493.1498.

[149] I. Khazaee, R. Hosseini, A. Kianifar, and S. H. Noie, "Experimental Consideration and Correlation of Heat Transfer of a Two-Phase Closed Thermosyphon Due to the Inclination Angle, Filling Ratio, and Aspect Ratio," *Journal of Enhanced Heat Transfer,* vol. 18, no. 1, pp. 31-40, Jan-Mar 2011. doi: DOI 10.1615/JEnhHeatTransf.v18.i1.30

[150] E. Y. Gatapova and E. Korbanova, "Measurements of the evaporation rate upon evaporation of thin layer at different heating modes," in *EPJ Web of Conferences*, 2017, vol. 159, p. 00013: EDP Sciences

[151] M. A. Mohd Khanafiah, N. A. Sahafudin, and F. Jerai, "Evaporator performance for water refrigerant adsorption cooling system," *Journal of Mechanical Engineering,*

vol. 19, no. 2, pp. 1-16, 2022. doi: 10.24191/jmeche.v19i2.19667.

[152] S. Kim, E. Y. Choi, and J. S. Kwak, "Effect of channel orientation on the heat transfer coefficient in the smooth and dimpled rotating rectangular channels," *Journal of Heat Transfer,* 2012. doi: 10.1115/1.4006013.

[153] M. Chandran, R. M. Elavarasan, R. B. Neelakandan, U. Subramaniam, and R. Pugazhendhi, "Influence of Geometrical Changes in an Adiabatic Portion on the Heat Transfer Performance of a Two-Phase Closed Thermosiphon System," *Energies,* vol. 14, no. 11, p. 3070, Jun 2021. doi: 10.3390/en14113070

[154] T. S. Griffith, L. Al-Hadhrami, and J.-C. Han, "Heat transfer in rotating rectangular cooling channels AR= 4 with dimples," *Turbomach.,* vol. 125, no. 3, pp. 555-563, 2003. doi: 10.1115/1.1571850.

[155] W.-W. Wang *et al.*, "Experimental investigation on the thermal performance of high-concentrated photovoltaic module utilizing the thermal sink of a novel Fan-shaped plate pulsating heat pipe," *Applied Energy,* vol. 377, p. 124365, 2025. doi: 10.1016/j.apenergy.2024.124365.

[156] M. Alizadeh and D. D. Ganji, "Heat transfer characteristics of an external‐fin‐assisted two‐phase closed thermosyphon: An experimental study," *Heat Transfer,* vol. 49, no. 8, pp. 4304-4320, 2020. doi: 10.1002/htj.21828.

[157] Y. Li, G. Chen, S. W. A. Shah, Y. Gao, and C. Pan, "Natural circulation oscillation in a seawater loop during startup," *Applied Thermal Engineering,* vol. 238, p. 121999, 2024. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2023.121999.

[158] S. H. Zhou *et al.*, "Effects of electronic expansion valve tube arrangement on reduction of two-phase refrigerant throttling noise," *International Journal of Refrigeration,* vol. 161, pp. 83-93, May 2024. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2024.02.027

[159] J. A. P. S. Raj *et al.*, "Mitigation of Flow Instabilities in Multiport Minichannel Thermosyphon Through a Modified Loop Design with Separate Vapour-Liquid Paths," *Case Studies in Thermal Engineering,* p. 106495, 2025. doi: 10.1016/j.csite.2025.106495

[160] X. Y. Wang, G. M. Xin, F. Z. Tian, and L. Cheng, "Effect of internal helical microfin on condensation performance of two-phase closed thermosyphon," *Advanced*

Materials Research, vol. 516, pp. 9-14, 2012. doi: 10.4028516-517.9.

[161] Y. Naresh and C. Balaji, "Experimental investigations of heat transfer from an internally finned two phase closed thermosyphon," *Applied Thermal Engineering,* vol. 112, pp. 1658-1666, Feb 5 2017. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.10.084

[162] P. Kodancha, S. Tripathi, and V. Hemadri, "Experimental investigation of thermal performance of cylindrical thermosyphon with novel wettability gradient and self-rewetting fluids," *Applied Thermal Engineering,* p. 127191, 2025. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.127191

[163] W. Min, W. Zhong, L. Wang, Y. Yuan, and X. Cao, "Numerical study on the flow and thermal characteristics of a two-phase closed thermosyphon filled with low surface tension working fluid under various wettability," *International Communications in Heat and Mass Transfer,* vol. 164, p. 108848, 2025. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2025.108848

[164] H. Arat, O. Arslan, U. Ercetin, and A. Akbulut, "Experimental study on heat transfer characteristics of closed thermosyphon at different volumes and inclination angles for variable vacuum pressures," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 26, p. 101117, Aug 2021. doi: 10.1016/j.csite.2021.101117

[165] Q. Xue, G. Xia, and R. Li, "Three-dimensional simulation and artificial neural network optimization of a flat plate heat pipe for the cooling of telecommunication equipment," *International Journal of Heat Fluid Flow,* vol. 107, p. 109399, 2024. doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2024.109399.

[166] A. Maleknezhad, A. Ghahremani, and M. B. Shafii, "Experimental investigation of simultaneous electricity generation and heat transfer in a thermosyphon heat pipe," *Thermal Science and Engineering Progress,* vol. 49, p. 102495, Mar 2024. doi: 10.1016/j.tsep.2024.102495

[167] Y. Ji, Y. Li, F. Xu, C. Yu, and H. Liu, "An experimental investigation on oscillating heat pipe under trans-critical conditions," *International Communications in Heat Mass Transfer,* vol. 155, p. 107552, 2024. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.107552.

[168] V. Scheiff, S. Yada, and R. B. Fdhila, "Experimental investigation and quasi-steady modeling of nucleate boiling in mini-channel thermosyphons," *Applied Thermal Engineering,* vol. 256, p. 124033, Nov 1 2024. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2024.124033

[169] S. Moradi and M. B. Shafii, "Low-grade heat to electricity conversion using the self-circulation of a magnet inside a single-turn pulsating heat pipe," *Energy Conversion and Management,* vol. 314, p. 118607, Aug 15 2024. doi: 10.1016/j.enconman.2024.118607

[170] S. A. Mostafavi, M. Khalili, S. S. K. Tabatabaei, and H. Moghadamrad, "Design and fabrication of a heat pipe and thermoelectric cooler-based food delivery box for vehicles," *Applied Thermal Engineering,* vol. 249, p. 123401, Jul 15 2024. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2024.123401

[171] P.-H. Huang, T. Ahn, A. Manera, and V. Petrov, "Investigation of key parameters for the operation of a sodium heat pipe with visualization using X-ray radiography," *Applied Thermal Engineering,* vol. 236, p. 121867, 2024. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2023.121867.

[172] S. Parameswaran, D. Karthickeyan, and T. Venugopal, "Effect of temperature on green synthesized silver nanoparticles using water and methonol," *Materials Today-Proceedings,* vol. 45, pp. 5506-5510, 2021. doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.232

[173] M. Mansur, "Performance of Heat Pipe Utilized for Atmospheric Air Heating," *Journal of Applied Mathematics Physics,* vol. 3, no. 8, pp. 1015-1021, 2015. doi: 10.4236/jamp.2015.38125.

[174] A. Jitianu, M. S. Kim, D. Andreescu, and D. V. Goia, "A simple preparative route to highly stable dispersions of uniform silver nanoparticles," *J Nanosci Nanotechnol,* vol. 9, no. 3, pp. 1891-6, Mar 2009. doi: 10.1166/jnn.2009.429

[175] M. R. J. Nasr and M. Tahmasbi, "Application of heat transfer enhancement on vertical thermosyphon reboilers using tube inserts," *Heat transfer engineering,* vol. 27, no. 6, pp. 58-65, 2006. doi: 10.1080/01457630600674725.

[176] Z. Weng, J. Du, F. Jiao, Y. Hong, Y. He, and C. Wang, "Experimental investigation

on the heat transfer performance of pulsating heat pipe with self-rewetting Fe3O4-nanofluid," *Case Studies in Thermal Engineering,* vol. 59, p. 104456, 2024. doi: 10.1016/j.csite.2024.104456.

[177] G. Kuznetsov, M. Al-Ani, and M. Sheremet, "Numerical analysis of convective heat transfer in a closed two-phase thermosyphon," *Journal of Engineering Thermophysics,* vol. 20, no. 2, pp. 201-210, 2011. doi: 10.1134/s1810232811020081.

[178] E. Santamaria, A. Maestro, S. Vilchez, and C. Gonzalez, "Study of nanoemulsions using carvacrol/MCT-(Oleic acid-potassium oleate)/ Tween 80 (R)- water system by low energy method," *Heliyon,* vol. 9, no. 6, p. e16967, Jun 2023. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16967

[179] K.-S. Ong and C. Lim, "Performance of water filled thermosyphons between 30-150oc," *Front. Heat Pipes,* vol. 6, no. 3, pp. 1-7, 2015. doi: 10.5098/fhp.6.3.

[180] A. S. Sudhan, A. B. Solomon, and I. D. Immanuel, "Comparative study on the heat transfer performance of micro-grooved anodized thermosyphon with R134a, R600a and R717 for low-temperature applications," *Journal of Mechanical Science and Technology,* vol. 35, pp. 5213-5223, 2021. doi: 10.1007/s12206-021-1038-6.

[181] T. Parametthanuwat, S. Rittidech, and K. Booddachan, "Thermosyphon installation for energy thrift in a smoked fish sausage oven (TISO)," *Energy,* vol. 35, no. 7, pp. 2836-2842, 2010. doi: 10.1016/j.energy.2010.03.010.

[182] M. Ramezanizadeh, M. Alhuyi Nazari, M. H. Ahmadi, and K.-w. Chau, "Experimental and numerical analysis of a nanofluidic thermosyphon heat exchanger," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics,* vol. 13, no. 1, pp. 40-47, 2019. doi: 10.1080/19942060.2018.1518272.

[183] Z. Su, H. Lin, Z. Li, K. Wang, and H. Wang, "Experimental study on the geyser boiling phenomena and periodic correlation in high temperature sodium heat pipes," *Applied Thermal Engineering,* vol. 267, p. 125822, 2025. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.125822.

[184] M. Pisárčik *et al.*, "Phosphonium surfactant stabilised silver nanoparticles.

Correlation of surfactant structure with physical properties and biological activity of silver nanoparticles," *Journal of Molecular Liquids,* vol. 314, p. 113683, 2020. doi: 10.1016/j.molliq.2020.113683.

[185] T. Parametthanuwat, N. Pipatpaiboon, N. Bhuwakietkumjohn, and S. Sichamnan, "Heat transfer characteristics of closed-end thermosyphon (CE-TPCT)," *Engineering Science and Technology an International Journal,* vol. 27, p. 101020, 2022. doi: 10.1016/j.jestch.2021.05.024.

[186] S. Sangiamsuk, S. Boothaisong, and S. Rittidech, "Study of parameters have effected to the heat pipe with mesh wick," *RMUTP Research journal,* vol. 12, 2020.

[187] S. Wannapakhe, S. Rittidech, B. Bubphachot, and O. Watanabe, "Heat transfer rate of a closed-loop oscillating heat pipe with check valves using silver nanofluid as working fluid," *Journal of Mechanical Science and Technology,* vol. 23, pp. 1576-1582, 2009. doi: 10.1007/s12206-009-0424-2.

[188] K. Khaongam and N. Srihajong, "Heat transfer characteristics of thermo-syphon: Case study of modifying inclination angle of evaporator and condenser sections," *Food Agricultural Sciences and Technology,* vol. 1, no. 2, pp. 57-62, 2015. doi: 10.14456/randk.2015.9

[189] W. Srimuang, S. Rittidech, and B. Bubphachot, "Heat transfer characteristics of a vertical flat thermosyphon (VFT)," *Journal of Mechanical Science and Technology,* vol. 23, pp. 2548-2554, 2009. doi: 10.1007/s12206-009-0703-y.

[190] S. Sichamnan and A. Rodbumrung, "Effects of Parameters on Heat Transfer Characteristics of a Rectangular Cross-Section Heat Pipe with Mesh Wick," *Applied Science and Engineering Progress,* vol. 15, no. 4, pp. 5628-5628, 2022. doi: 10.14416/j.asep.2021.11.010.

[191] A. Franco and S. Filippeschi, "Closed loop two-phase thermosyphon of small dimensions: a review of the experimental results," *Microgravity Science and Technology,* vol. 24, pp. 165-179, 2012. doi: 10.1007/s12217-011-9281-6.

[192] K. Smith, S. Siedel, A. J. Robinson, and R. Kempers, "The effects of bend angle and fill ratio on the performance of a naturally aspirated thermosyphon,"

Applied Thermal Engineering, vol. 101, pp. 455-467, 2016. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.024.

[193] T. Zhang, L. Wang, W. Zheng, Z. Yan, and J. Hou, "Parametric analysis on flooding limit and critical film thickness of a vertical two-phase closed thermosyphon," *Heat and Mass Transfer,* vol. 57, pp. 1-12, 2021. doi: 10.1007/s00231-020-02941-7.

[194] P. Terdtoon, M. Chailungkar, and M. Shiraishi, "Effects of aspect ratios on internal flow patterns of an inclined closed two-phase thermosyphon at normal operating condition," *Heat transfer engineering,* vol. 19, no. 4, pp. 75-85, 1998. doi: 10.1080/01457639808939938

[195] S. Noie, "Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon," *Applied Thermal Engineering,* vol. 25, no. 4, pp. 495-506, 2005. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2004.06.019.

[196] M. S. Priya and D. Sakthivadivel, "Experimental investigation on the thermal performance of a novel thermosyphon heat pipe with truncated cone for heat recovery systems," *Energy Conversion and Management,* vol. 276, p. 116522, 2023. doi: 10.1016/j.enconman.2022.116522.

[197] J. Seo, J. Lee, and J. Lee, "Impact force and occurrence condition of geyser boiling in two-phase closed thermosyphon," *International Communications in Heat and Mass Transfer,* vol. 159, p. 108262, 2024. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.108262.

[198] Y. Chen, F. Yu, C. Zhang, and X. Liu, "Experimental study on thermo-hydrodynamic behaviors in miniaturized two-phase thermosyphons," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 100, pp. 550-558, 2016. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.04.079.

[199] S. H. Noie, S. Z. Heris, M. Kahani, and S. Nowee, "Heat transfer enhancement using Al2O3/water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon," *International Journal of Heat and Fluid Flow,* vol. 30, no. 4, pp. 700-705, 2009. doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2009.03.001.

[200] D. Jafari, P. Di Marco, S. Filippeschi, and A. Franco, "An experimental

investigation on the evaporation and condensation heat transfer of two-phase closed thermosyphons," *Experimental Thermal and Fluid Science,* vol. 88, pp. 111-123, 2017. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2017.05.019.

[201] W. Dangeton, S. Rittidech, A. Pattiya, and N. Siriwan, "A correlation to predict heat-transfer rates of a miniature loop thermosyphon," *Journal of Engineering Thermophysics,* vol. 22, pp. 111-121, 2013. doi: 10.1134/s1810232813020033.

[202] T. Parametthanuwat and S. Rittidech, "Silver nanofluid containing oleic acid surfactant as working fluid in the two-phase closed thermosyphon (TPCT): a thermodynamic study," *Nanoscale and Microscale Thermophysical Engineering,* vol. 17, no. 3, pp. 216-235, 2013. doi: 10.1080/15567265.2013.776652.

[203] A. Donmuang and T. Chompookham, "Correlation for Predicting Heat Transfer Characteristics of A Helical Oscillating Heat Pipe (HOHP) at Normal Operating Conditions," *International Journal of Renewable Energy Development,* vol. 10, no. 2, p. 171, 2021. doi: 10.14710/ijred.2021.33671.

[204] E. Firouzfar, M. Soltanieh, S. Noie, and M. Saidi, "Investigation of heat pipe heat exchanger effectiveness and energy saving in air conditioning systems using silver nanofluid," *International Journal of Environmental Science and Technology,* vol. 9, pp. 587-594, 2012. doi: 10.1007/s13762-012-0051-9.

[205] P. Estellé, D. Cabaleiro, G. Żyła, L. Lugo, and S. S. Murshed, "Current trends in surface tension and wetting behavior of nanofluids," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 94, pp. 931-944, 2018. doi: 10.1016/j.rser.2018.07.006.

[206] T. Parametthanuwat, "Heat transfer characteristic advanced loop thermosyphon with check value (ALT/CV) containing nanofluids," ed: Thailand Science Research and Innovation, 2017.

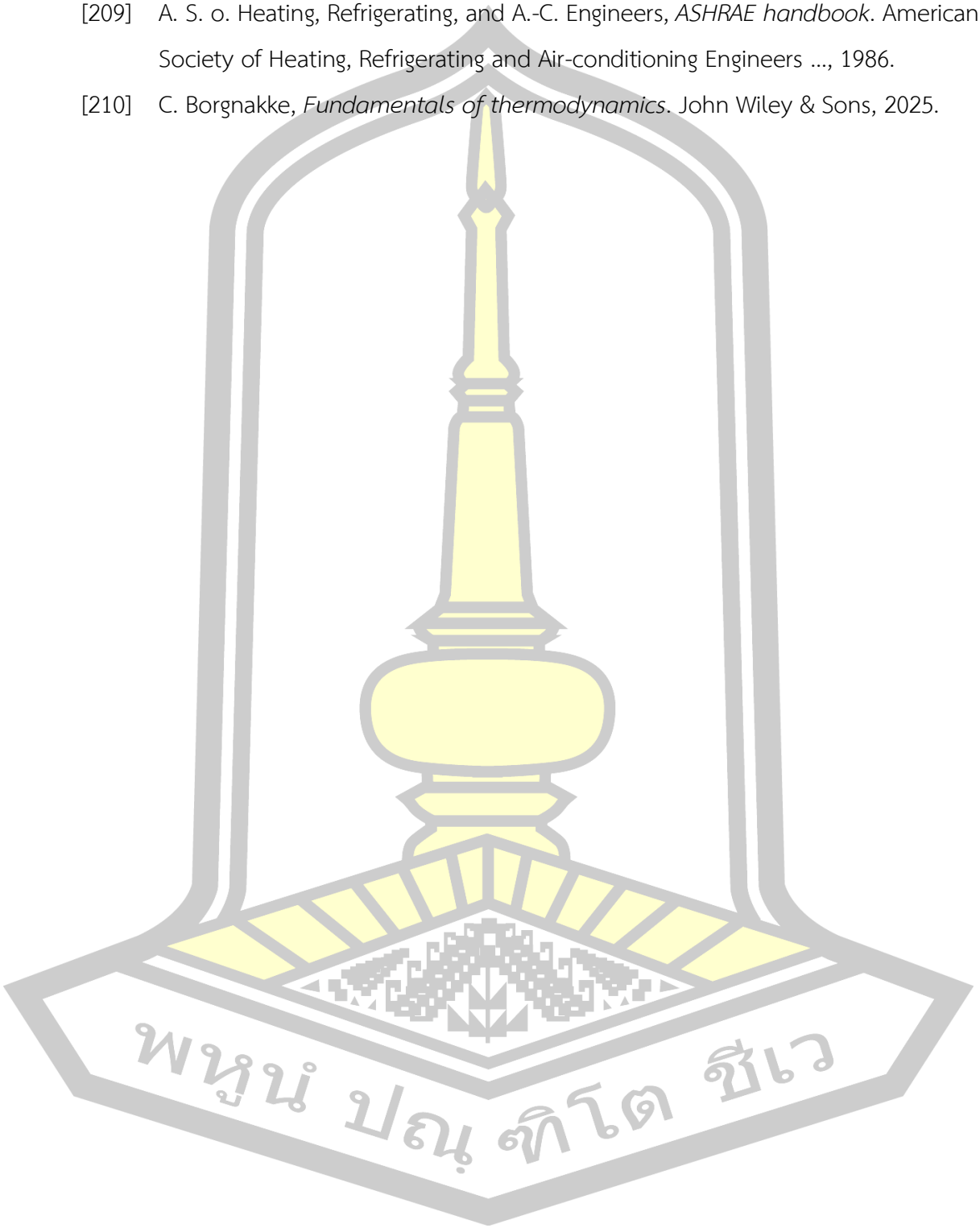
[207] K. Smith, A. Robinson, and R. Kempers, "Confinement and vapour production rate influences in closed two-phase reflux thermosyphons Part B: Heat transfer," *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 120, pp. 1241-1254, 2018. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.12.046.

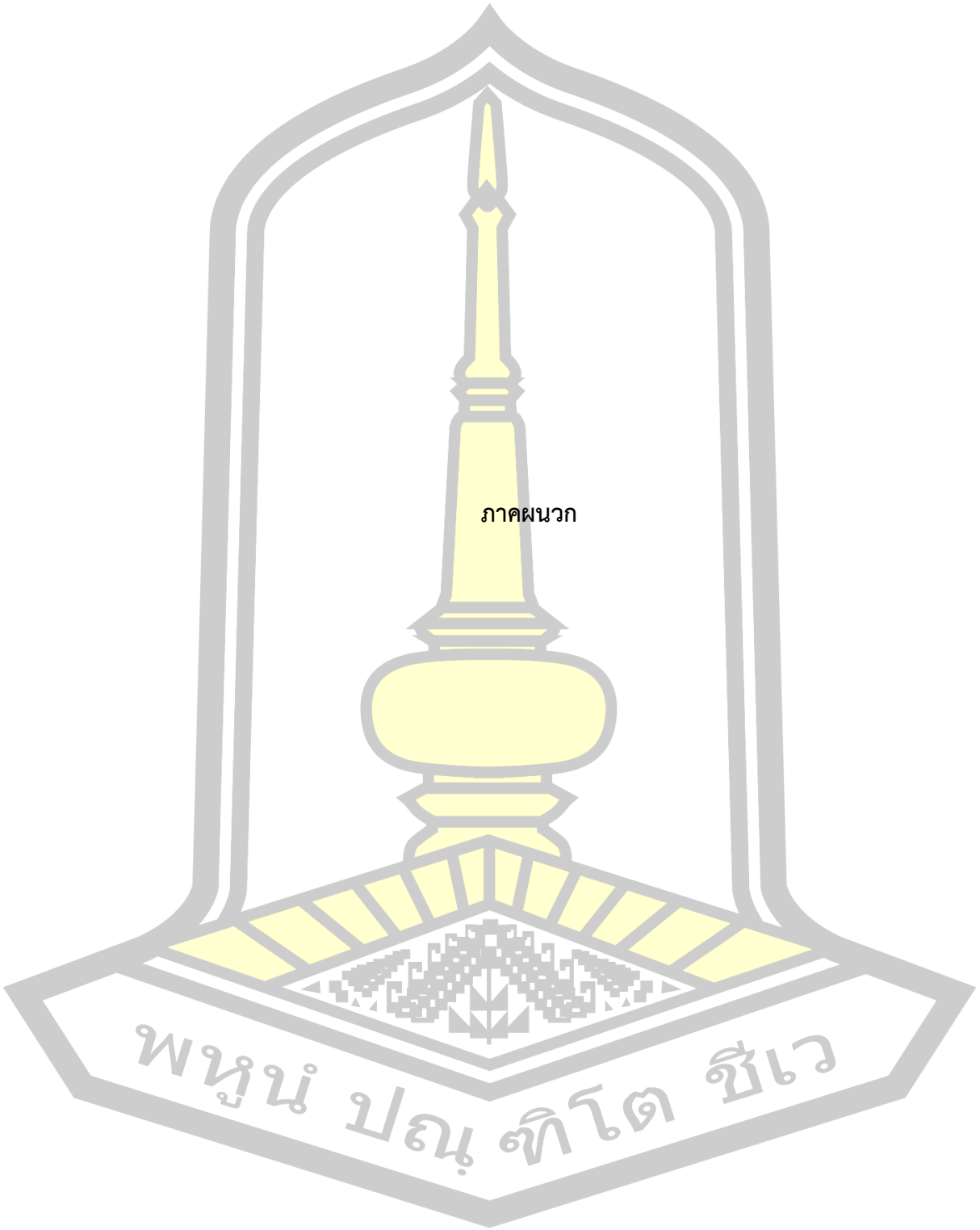
[208] K. Smith, "Two-Phase Flow and Heat Transfer in Reflux Thermosyphons," Trinity

College Dublin, 2016.

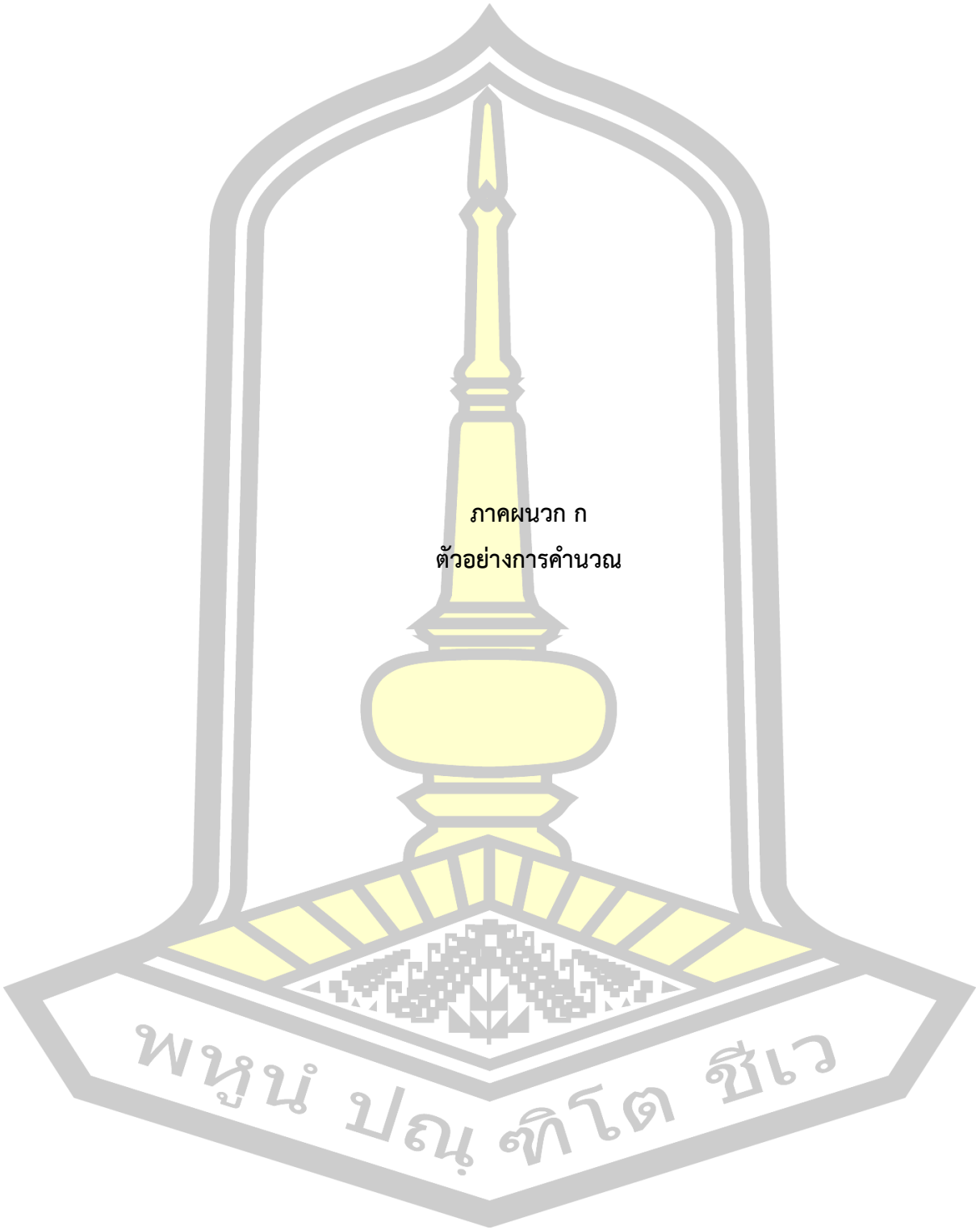
[209] A. S. o. Heating, Refrigerating, and A.-C. Engineers, *ASHRAE handbook*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers ..., 1986.

[210] C. Borgnakke, *Fundamentals of thermodynamics*. John Wiley & Sons, 2025.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ ก.1 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการเติมสารทำงาน

การคำนวณหาปริมาณการเติมสารทำงานเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ(RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm ความยาวส่วนทำระเหยแตกต่างกัน 3 ขนาด L_e=126, L_e=252 และ L_e=504 mm สารทำงาน 3 ชนิด 1) น้ำปราศจากไอออน DI 2) น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต ความเข้มข้น 1 wt% (OAK^+) 3) เอทานอล ปริมาณการเติมสารทำงาน คือ 50 % ของปริมาตรส่วนทำระเหย

$$V_{100\%} = (X\ Y)\ L_{ความยาวส่วนทำระเหย} \quad (ก.1)$$

$$L_{ความยาวส่วนทำระเหย} = 12.6\ cm\ ,\ 25.2\ cm,\ 50.4\ cm$$

$$X = Y = 2.52\ cm$$

แทนค่าในสมการ (ก.1)

$$V\ 100\ \% = (2.52 \times 2.52) \times 12.6$$

$$= 80.01\ cm^3 = 80.01\ ml$$

$$V\ 100\ \% = (2.52 \times 2.52) \times 25.2$$

$$= 160.03\ cm^3 = 160.03\ ml$$

$$V\ 100\ \% = (2.52 \times 2.52) \times 50.4$$

$$= 320.06\ cm^3 = 320.06\ ml$$

เมื่อใช้ปริมาณการเติม คือ 50 % ของปริมาตรส่วนทำระเหย ดังนั้นปริมาณการเติมสารทำงาน

$$= 80.01 \times 0.5 = 40.00\ ml$$

$$= 160.03 \times 0.5 = 80.01\ ml$$

$$= 320.06 \times 0.5 = 160.03\ ml$$

ดังนั้น อัตราการเติมสารทำงาน

ที่ความยาวส่วนทำระเหย Le=12.6 cm จึงต้องเติมของเหลว 40.00 ml

ที่ความยาวส่วนทำระเหย Le=25.2 cm จึงต้องเติมของเหลว 80.01 ml

ที่ความยาวส่วนทำระเหย Le=50.4 cm จึงต้องเติมของเหลว 160.03 ml

ตัวอย่างที่ ก.2 การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่น Q_c

ผลการทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ความยาวของส่วนควบแน่น 126 mm อุณหภูมิน้ำส่วนทำระเหย 90 °C มุมเอียง 90 °C อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเข้าส่วนควบแน่น 0.25 l/min วัดอุณหภูมิน้ำที่ส่วนควบแน่นได้

$$T_{c\,in} = 19.8\ ^{\circ}C$$

$$T_{c\,out} = 23.5\ ^{\circ}C$$

คำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนได้จากสมการ

$$Q_c = \dot{m} C_p \left(T_{c\,out} - T_{c\,in} \right) \qquad \text{(ก.2)}$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำส่วนควบแน่น = 0.25 Lpm (0.004167 kg/s)

C_p คือ (ของน้ำเฉลี่ย $(T_{c\,out} + T_{c\,in}) / 2$) = (23.5+19.8)/2 = 21.65 °C

ซึ่งจะได้ค่า $C_p = 4183$ J/kg.K

$\Delta T = (23.5 - 19.8)$

$= 3.7$ °C

แทนค่าในสมการที่ (ก.2) $Q_c = (0.004167 \text{ kg/s}) \times (3.7\ ^{\circ}C) \times (4183 \text{ J/kg.K})$

$Q_c = 64.49$ J/s

$Q_c = 64.49$ J/s หรือ W

คำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม RTPCT (q)

จากสมการ $$q_C = \frac{Q_c}{(2x + 2y)L_{condenser}} \qquad \text{(ก.3)}$$

เมื่อ Q_c คือ การถ่ายเทความร้อน = 64.49 W

X คือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) = 0.0252 m

Y คือ ความยาวของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) = 0.0252 m

L_c คือ ความยาวส่วนควบแน่น = 0.126 m

แทนค่าในสมการ (ก.3)

$$q_C = \frac{64.49}{(2(0.0252) + 2(0.0252)) \times 0.126}$$

$$q_c = 5.17 \text{ kW/m}^2$$

ตัวอย่างที่ ก.3 การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนทำระเหย Q_e

ผลการทดลองเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm สารทำงาน ปราศจากไอออน (DI) ความยาวของส่วนทำระเหย 126 mm อุณหภูมิน้ำส่วนทำระเหย 90 °C มุมเอียง 90 °C อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเข้าส่วนทำระเหย 0.25 l/min วัดอุณหภูมิน้ำที่ส่วนทำระเหยได้

$$T_{e\,in} = 90\ ^{\circ}C$$

$$T_{e\,out} = 84.2\ ^{\circ}C$$

คำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนได้จากสมการ

$$Q_e = \dot{m} C_p \left(T_{e\,in} - T_{e\,out} \right) \qquad \text{(ก.4)}$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำส่วนทำระเหย = 0.25 Lpm (0.004167 kg/s)

C_p คือ (ของน้ำเฉลี่ย $(T_{e\,in} + T_{e\,out}) / 2$) = (90+84.2)/2 = 87.1 °C

ซึ่งจะได้ค่า C_p = 4201.0 J/kg.K

$\Delta T = (84.2 - 90)$

$= 5.8\ ^{\circ}C$

แทนค่าในสมการ (ก.4) $Q_e = (0.004167\ kg/s) \times (5.8\ ^{\circ}C) \times (4201.0\ J/kg.K)$

$Q_e = 101.65\ J/s$

$Q_e = 101.65\ J/s$ หรือ W

คำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม RTPCT (q_e)

จากสมการ $$q_e = \frac{Q_e}{(2x + 2y)L_{evaporator}} \qquad \text{(ก.5)}$$

เมื่อ Q_e คือ การถ่ายเทความร้อน = 101.65 W

X คือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) = 0.0252 m

Y คือ ความยาวของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT) = 0.0252 m

L_e คือ ความยาวส่วนทำระเหย = 0.126 m

แทนค่าในสมการ (ก.5)

$$q_e = \frac{101.65}{(2(0.0252) + 2(0.0252)) \times 0.126}$$

$$q_e = 8.00\ kW/m^2$$

ตัวอย่างที่ ก.4 การคำนวณหาค่าบอนด์นัมเบอร์ (Bond Number, Bo)

เป็นอัตราส่วนของแรงลอย ตัวต่อแรงตึงของของไหลใด ๆ โดยที่คุณสมบัติของ สารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI) ที่หาได้จากการเปิดตารางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่อุณหภูมิผนังท่อของส่วนทำระเหย 65 °C ได้ค่าคุณสมบัติของสารทำงานดังต่อไปนี้

$$\rho_v = 980.4\ kg/m^3 \quad \rho_l = 0.1614\ kg/m^3 \quad \sigma = 0.06624\ N/m$$

จากสมการ

$$Bo = D_i \left[g \times \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (ก.6)$$

เมื่อ Bo คือ ตัวเลขบอนด์

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเทอร์โมไซฟอน = 0.0252 m

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเท่ากับ = 9.81 m/s^2

ρ_l คือ ความหนาแน่นของเหลวเท่ากับ = 0.1614 m^3

ρ_v คือ ความหนาแน่นของไอเท่ากับ = 980.4 kg/m^3

σ คือ แรงตึงผิวเท่ากับ = 0.06624 N/m

แทนค่าในสมการ (ก.6)

$$Bo = 0.0252 \left[9.81 \times \frac{0.1614 - 980.4}{0.06624} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Bo = 9.60$$

ตัวอย่างที่ ก.5 การคำนวณหาค่าปรากฏการณ์การระเหยของสารทำงาน (Jacob Number, Ja)

เป็นอัตราส่วนของค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอต่อค่าความจุความร้อนของของเหลวใดๆโดยที่ ใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) โดยมีคุณสมบัติของสารทำงานหาได้จากการเปิดตารางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่อุณหภูมิผนังท่อของส่วนกันความร้อน Ta = 50 °C ได้ค่าคุณสมบัติของสารทำงานดังต่อไปนี้

$$C_p = 4.181\ J/kg \quad h_{fg} = 2591.2\ kJ/kg$$

จากสมการ

$$Ja = \frac{h_{fg}}{Cp_l \times T_v} \qquad (ก.7)$$

เมื่อ Ja คือ ตัวเลขจาคอบ

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ = 2591.2 J/kg

Cp_l คือ ค่าความร้อนจำเพาะของสาร = 4.181 J/kg.K

T_v คือ อุณหภูมิไอ = 50 °C + 273.15 = 323.15 K

แทนค่าในสมการ (ก.7)

$$Ja = \frac{2591.2}{4.181 \times 323.15}$$

$$Ja = 1.91$$

ตัวอย่างที่ ก.6 การคำนวณหาปรากฏการณ์การพาความร้อน (Prandtl Number, Pr)

เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าการสะสมความร้อนของของเหลวต่อค่าความร้อนที่ก้อนของเหลวสามารถถ่ายเทได้โดยที่ ใช้สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) คุณสมบัติของสารทำงานหาได้จากการเปิดตารางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่อุณหภูมิผนัง (RTPCT) ของส่วนกันความร้อน Ta = 55 °C ได้ค่าคุณสมบัติของสารทำงานดังต่อไปนี้

$$C_p = 4.183\ J/kg.K \quad \mu_l = 0.547 \times 10^{6}\ kg/m.s \quad K_l = 649.2 \times 10^{-3}\ W/m^2.K$$

จากสมการ

$$Pr = \frac{\mu_l \times Cp_l}{K_l} \qquad (ก.8)$$

เมื่อ Pr คือ พรันด์เทิลนัมเบอร์

μ_l คือ ความหนืด = 0.547×10^{-6} kg/m.s

Cp_l คือ ค่าความร้อนจำเพาะของสาร = 4.183 J/kg.K

K_l คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเหลว = 649.2×10^{-3} W/m.K

แทนค่าในสมการ (ก.8)

$$Pr = \left[\frac{0.547 \times 10^{-6} \times 4.183 \times 10^{3}}{649.2 \times 10^{-3}} \right]$$

$$Pr = 3.52$$

ตัวอย่างที่ ก.7 การคำนวณหาค่าอัตราส่วนสนทัด (Aspect ratio) (RTPCT)

จากสมการ $$\text{อัตราส่วนสนทัด} = \left[\frac{L_c}{D_i} = \frac{L_c}{4R_h}\right] \quad \text{(ก.9)}$$

เมื่อ L_c คือ ความยาวของส่วนควบแน่น = 0.126 m

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT) = 0.0252 m

แทนค่าในสมการ (ก.9)

$$\text{อัตราส่วนสนทัด} = \left[\frac{0.126}{0.0252}\right]$$

$$\text{อัตราส่วนสนทัด} = 5$$

ตัวอย่างที่ ก.8 การคำนวณหาปรากฏการณ์การควบแน่น ตัวเลขคอนเดนเซชัน (Condensation number, Co)

เป็นอัตราส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อนจากการพาต่อการถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนของสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) คุณสมบัติของสารทำงานหาได้จากการเปิดตารางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่อุณหภูมิผนังท่อ (RTPCT) ของส่วนควบแน่น Tc = 37.71 °C ได้ค่าคุณสมบัติของสารทำงานดังต่อไปนี้

$$\mu = 0.000549 \text{ kg/m.s} \quad K = 0.6435 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

$$\rho = 987.71 \text{ kg/m}^3 \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Co = \frac{h}{k} \times \left[\frac{\mu^2}{g \times \rho^2}\right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{(ก.10)}$$

เมื่อ Co คือ คอนเดนเซชัน

h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน = 1243.899 W/m^2.K

k คือ การนำความร้อน = 0.6435 W/m^2.K

μ คือ ความหนืด = 0.000549 kg/m.s

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง = 9.81 m/s^2

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว = 987.71 kg/m^3

แทนค่าในสมการ (ก.10)

$$Co = \frac{1243.899}{0.6435} \times \left[\frac{0.000549^2}{9.81 \times 987.71^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$Co = 0.061$$

ตัวอย่างที่ ก.8 การคำนวณหาค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลวและค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอ

การทดสอบสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) อุณหภูมิน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย 90 °C มุมเอียง 80° อัตราการเติมสารทำงาน 50 % ของปริมาตรส่วนทำระเหย เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) อัตราส่วนสนทัด AR 5 ความยาวของส่วนควบแน่น Lc= 126 mm ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm

1. ค่าคุณภาพไอ (x)

จากสูตร $x = (h_{TP} - h_f) / (h_g - h_f)$ (ก.11)

ในที่นี้ $T_{สารทำงานภายในท่อ} = 59.6$ °C

$T_{สารเริ่มต้น} = 25$ °C

h_f @ 59.6 °C = 249.50 kJ/kg ค่าคุณสมบัติของสารทำงาน

h_g @ 59.6 °C = 2608.09 kJ/kg ค่าคุณสมบัติของสารทำงาน

h_{TP} @ 59.6 °C = 394.21 kJ/kg ค่าคุณสมบัติของสารทำงาน

C_p @ 59.6 °C = 4.18 kJ/kg °C ค่าคุณสมบัติของสารทำงาน

แทนค่าในสมการ (ก.11) $x = (394.21 - 249.50) / (2608.09 - 249.50)$

จะได้ $x = 0.06135$

2. ค่าฟลักซ์มวลของไอ (G_g)

จากสูตร $G_g = \rho_g u_g$ (ก.12)

เมื่อกำหนดให้ $\rho_g = 0.1283$ kg/m^3

$u_g = 0.1202$ m/s

แทนค่าในสมการ (ก.12) $G_g = 0.1283 \times 0.1202$

$G_g = 0.01542$ kg/s.m^2

3. ค่าฟลักซ์ของการไหลสองสถานะ (G)

จากสูตร $G = G_g/x$ (ก.13)

เมื่อกำหนดให้ $G_g = 0.01542$ kg/s. m^2

$x = 0.06135$

แทนค่าในสมการ (ก.13) $G = 0.01542/0.06135$

$G = 0.2513$ kg/s. m^2

4. ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว ($\rho_l u_l^2$)

จากสูตร $$\rho_l u_l^2 = \frac{[G(1-x)]^2}{\rho_l}$$ (ก.14)

เมื่อกำหนดให้ $G = 0.2513$ kg/s. m^2

$x = 0.06135$

$\rho_l = 983.45$ kg/m^3

แทนค่าในสมการ (ก.14) $$\rho_l u_l^2 = \frac{[0.2513 \times (1-0.06135)]^2}{983.45}$$

$= 0.0565$ kg/s^2 .m

5 ค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอ ($\rho_g u_g^2$)

จากสูตร $$\rho_g u_g^2 = \frac{[G(x)]^2}{\rho_g}$$ (ก.15)

เมื่อกำหนดให้ $G = 0.2513$ kg/s. m^2

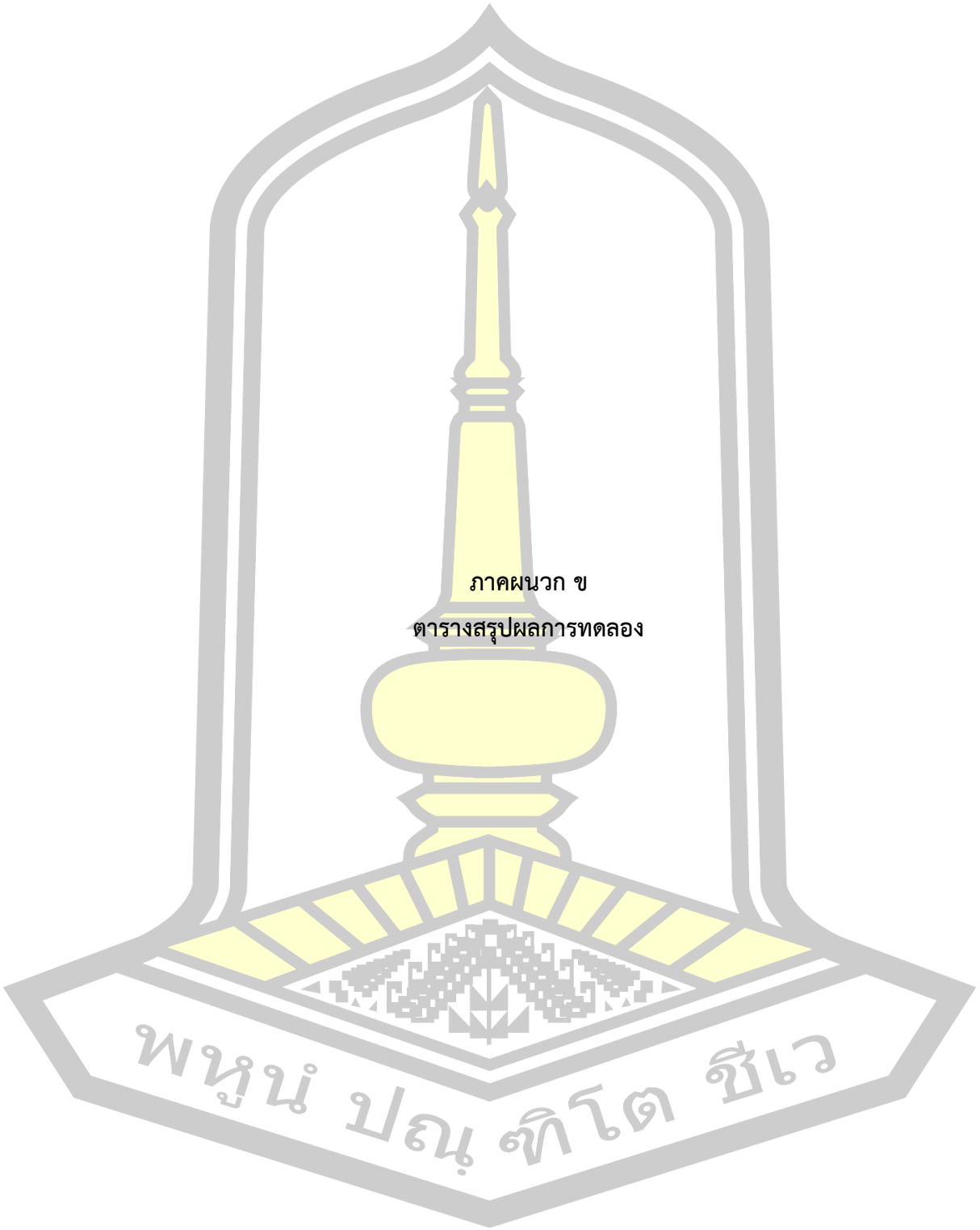
$x = 0.06135$

$\rho_g = 0.1283$ kg/m^3

แทนค่าในสมการ (ก.15) $$\rho_g u_g^2 = \frac{[0.2513 \times 0.06135]^2}{0.1283}$$

$= 2.027$ kg/s^2 .m

พหุน ปยุตโต ชีเว



ภาคผนวก ข

ตารางสรุปผลการทดลอง

ตาราง ข.1 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น	L_v(m)	u_g(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.87
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0669	0.1267	2.72
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0961	0.1233	4.56
80 °	50 °C	-	-	-	1.12
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0729	0.1133	3.17
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0997	0.1093	5.06
90 °	50 °C	-	-	-	0.54
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0705	0.1156	2.29
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0968	0.1163	4.21

ตาราง ข.2 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย	L_v(m)	u_g(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.87
	70 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง	0.0203	0.0243	2.72
	90 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง	0.0223	0.0220	4.56
80 °	50 °C	-	-	-	1.12
	70 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง	0.0213	0.0177	3.17
	90 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง	0.0263	0.0157	5.06
90 °	50 °C	-	-	-	0.54
	70 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง	0.0191	0.0205	2.29
	90 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง	0.0254	0.0123	4.21

ตาราง ข.3 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น	L_v(m)	u_g(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.43
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.1196	0.1313	1.38
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.1183	0.1283	2.42
80 °	50 °C	-	-	-	0.65
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.1123	0.1310	1.61
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.1400	0.1257	2.67
90 °	50 °C	-	-	-	0.27
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.1235	0.1290	1.17
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.1286	0.1260	2.17

ตาราง ข.4 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้าน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย	L_v (m)	u_g (m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.43
	70 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน	0.0386	0.0207	1.38
	90 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน +แบบแยกชั้น	0.0411	0.0177	2.42
80 °	50 °C	-	-	-	0.65
	70 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน	0.0414	0.0245	1.61
	90 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน +แบบแยกชั้น	0.0450	0.0198	2.67
90 °	50 °C	-	-	-	0.27
	70 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน	0.0361	0.0323	1.17
	90 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน	0.0442	0.0260	2.17

ตาราง ข.5 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น	L_v(m)	u_g(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.14
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0573	0.1383	0.68
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0613	0.1286	1.21
80 °	50 °C	-	-	-	0.23
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0600	0.1356	0.79
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0621	0.1263	1.31
90 °	50 °C	-	-	-	0.03
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0591	0.1367	0.57
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0611	0.1280	1.09

ตาราง ข.6 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย	L_v (m)	u_g (m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.14
	70 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน	0.0571	0.0273	0.68
	90 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน +แบบแยกชั้น	0.0642	0.0235	1.21
80 °	50 °C	-	-	-	0.23
	70 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน	0.0580	0.0368	0.79
	90 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน +แบบแยกชั้น	0.0651	0.0208	1.31
90 °	50 °C	-	-	-	0.03
	70 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน	0.0577	0.0335	0.57
	90 °C	แบบฟอง+แบบก้อง+แบบโพรง+แบบวงแหวน	0.0645	0.0250	1.09

ตาราง ข.7 ผลการทดลอง สารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น	L_v(m)	u_g(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	1.94
	70 °C	แบบฝันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.0403	0.1182	4.49
	90 °C	แบบฝันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.0480	0.1173	7.27
80 °	50 °C	-	-	-	2.65
	70 °C	แบบฝันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.0413	0.1150	5.19
	90 °C	แบบฝันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.0493	0.1147	8.16
90 °	50 °C	-	-	-	1.44
	70 °C	แบบฝันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.0400	0.1250	3.58
	90 °C	แบบฝันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.0448	0.1216	5.99

ตาราง ข.8 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย	L_v (m)	u_g (m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	1.94
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0485	0.0321	4.49
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0720	0.0281	7.27
80 °	50 °C	-	-	-	2.65
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0503	0.0285	5.19
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0753	0.0270	8.16
90 °	50 °C	-	-	-	1.44
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0586	0.0275	3.58
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0601	0.0235	5.99

ตาราง ข.9 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น	L_v(m)	u_g(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.90
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0677	0.1274	2.24
	90 °C	แบบผันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.1113	0.1263	3.52
80 °	50 °C	-	-	-	1.32
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0690	0.1277	2.60
	90 °C	แบบผันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.1127	0.1243	3.92
90 °	50 °C	-	-	-	0.61
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0673	0.1293	1.79
	90 °C	แบบผันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.1108	0.1273	3.11

ตาราง ข.10 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย	L_v (m)	u_g (m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.90
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0444	0.0281	2.24
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0513	0.0251	3.52
80 °	50 °C	-	-	-	1.32
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0475	0.0271	2.60
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0561	0.0254	3.92
90 °	50 °C	-	-	-	0.61
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0494	0.0261	1.79
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0594	0.0245	3.11

ตาราง ข.11 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น	L_v(m)	u_g(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.42
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0733	0.1367	1.03
	90 °C	แบบผันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.0783	0.1323	1.63
80 °	50 °C	-	-	-	0.64
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0817	0.1320	1.23
	90 °C	แบบผันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.0933	0.1293	1.82
90 °	50 °C	-	-	-	0.28
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0783	0.1352	0.84
	90 °C	แบบผันผวน+แบบหยด+แบบย้อนกลับ	0.0812	0.1317	1.41

ตาราง ข.12 ผลการทดลองสารทำงาน น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt% (NP) ที่มีกรดโอเลอิก 1 wt% (OA) NP ผสมกับโพแทสเซียมโอลีเอต 1 wt% (OAK^+) เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย	L_v (m)	u_g (m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.42
	70 °C	แบบฟอง+ แบบโพรง	0.0900	0.037	1.03
	90 °C	แบบฟอง+ แบบโพรง	0.0965	0.034	1.63
80 °	50 °C	-	-	-	0.64
	70 °C	แบบฟอง+ แบบโพรง	0.0950	0.038	1.23
	90 °C	แบบฟอง+ แบบโพรง	0.1025	0.033	1.82
90 °	50 °C	-	-	-	0.28
	70 °C	แบบฟอง+ แบบโพรง	0.0885	0.039	0.84
	90 °C	แบบฟอง+ แบบโพรง	0.0985	0.035	1.41

ตาราง ข.13 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น	L_v(m)	u_s(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	1.46
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0788	0.1303	3.49
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0809	0.1250	5.61
80 °	50 °C	-	-	-	1.85
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0799	0.1277	3.93
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0809	0.1237	6.34
90 °	50 °C	-	-	-	1.09
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0787	0.1290	2.84
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0794	0.1250	4.80

ตาราง ข.14 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 5 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย	L_v (m)	u_s (m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	1.46
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0207	0.0365	3.49
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0214	0.0280	5.61
80 °	50 °C	-	-	-	1.85
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0209	0.0290	3.93
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0221	0.0260	6.34
90 °	50 °C	-	-	-	1.09
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0207	0.0270	2.84
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0214	0.0235	4.80

ตาราง ข.15 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น	L_v(m)	u_g(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.69
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0580	0.1287	1.72
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0625	0.1257	2.87
80 °	50 °C	-	-	-	0.95
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0584	0.1277	2.08
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0630	0.1267	3.24
90 °	50 °C	-	-	-	0.41
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0579	0.1293	1.42
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0614	0.1287	2.54

ตาราง ข.16 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 10 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย

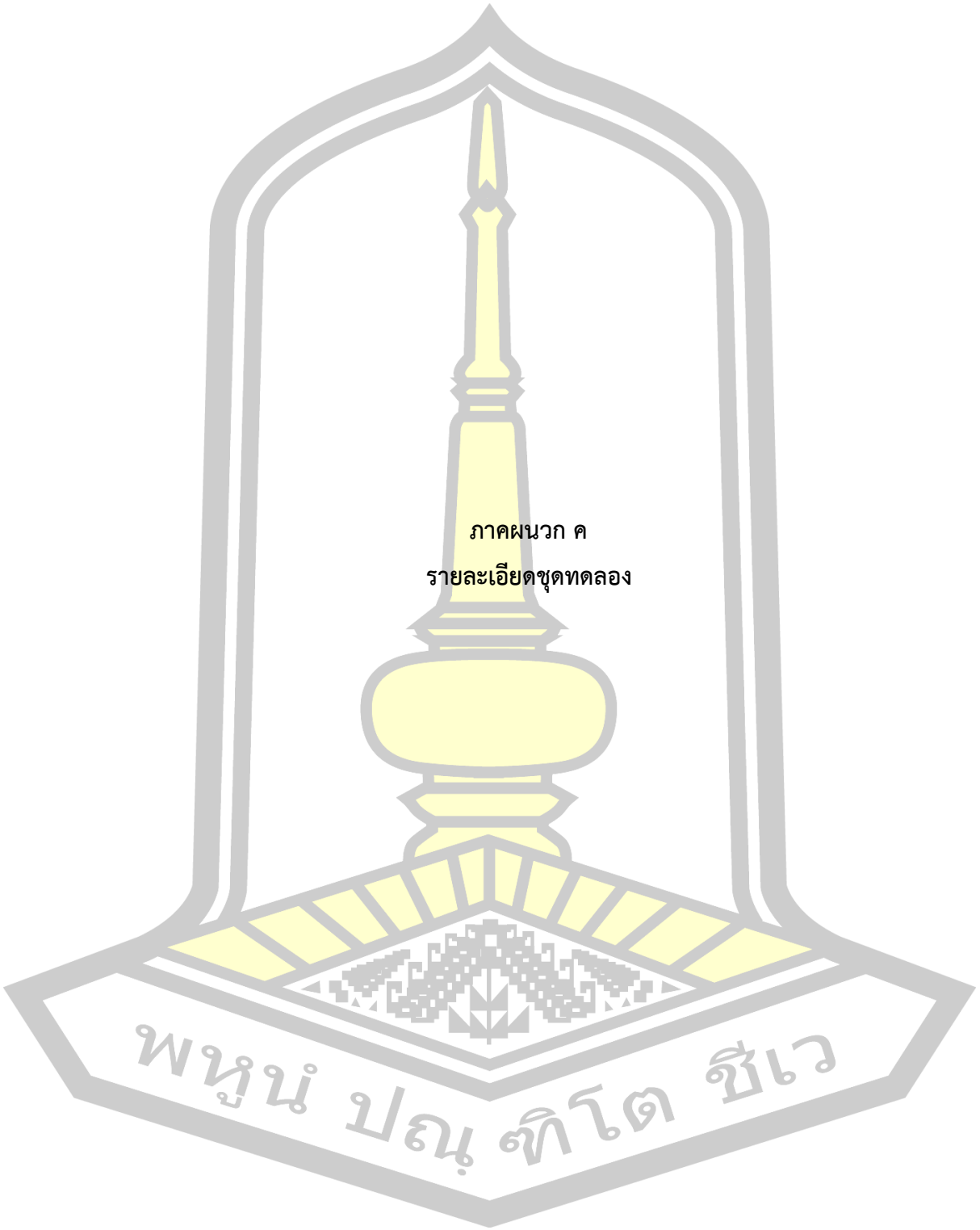
มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย	L_v (m)	u_g (m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.69
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0427	0.0281	1.72
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0594	0.0251	2.87
80 °	50 °C	-	-	-	0.95
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0432	0.0235	2.08
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0607	0.0201	3.24
90 °	50 °C	-	-	-	0.41
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0431	0.0325	1.42
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.0551	0.0295	2.54

ตาราง ข.17 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น

มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนควบแน่น	L_v(m)	u_g(m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.30
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0485	0.1437	0.83
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0648	0.1380	1.38
80 °	50 °C	-	-	-	0.46
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0751	0.1510	0.98
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0834	0.1350	1.59
90 °	50 °C	-	-	-	0.15
	70 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0311	0.1410	0.71
	90 °C	แบบหยด+แบบฟิล์ม+แบบย้อนกลับ	0.0346	0.1390	1.22

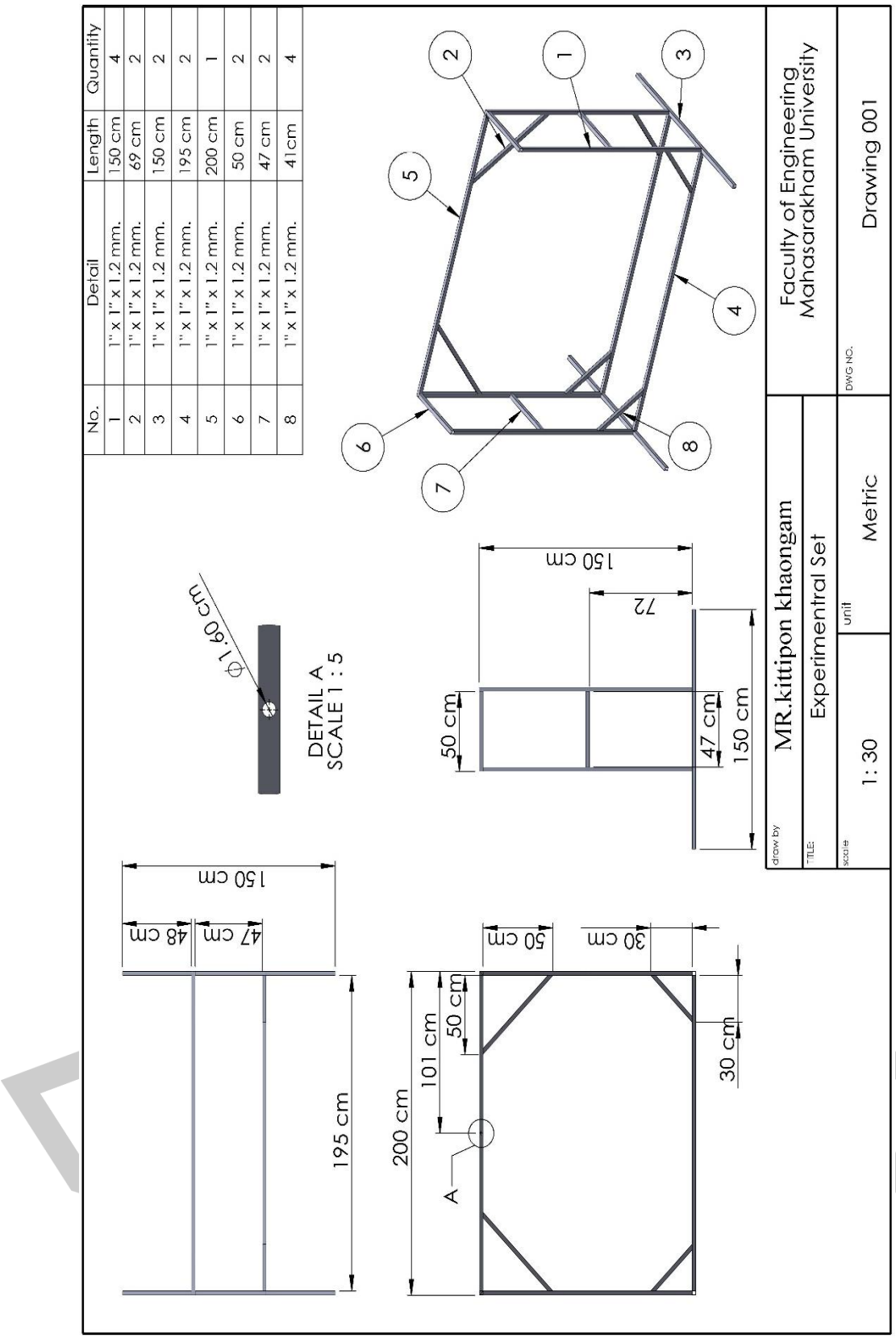
ตาราง ข.18 ผลการทดลองสารทำงาน เอทานอล เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ (RTPCT) ที่เส้นสัมผัสเปียก ขนาดของแต่ละด้านตามแนวแกน X และ Y เท่ากับ 25.2 mm อัตราส่วนสนทัด (AR) 20 รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย

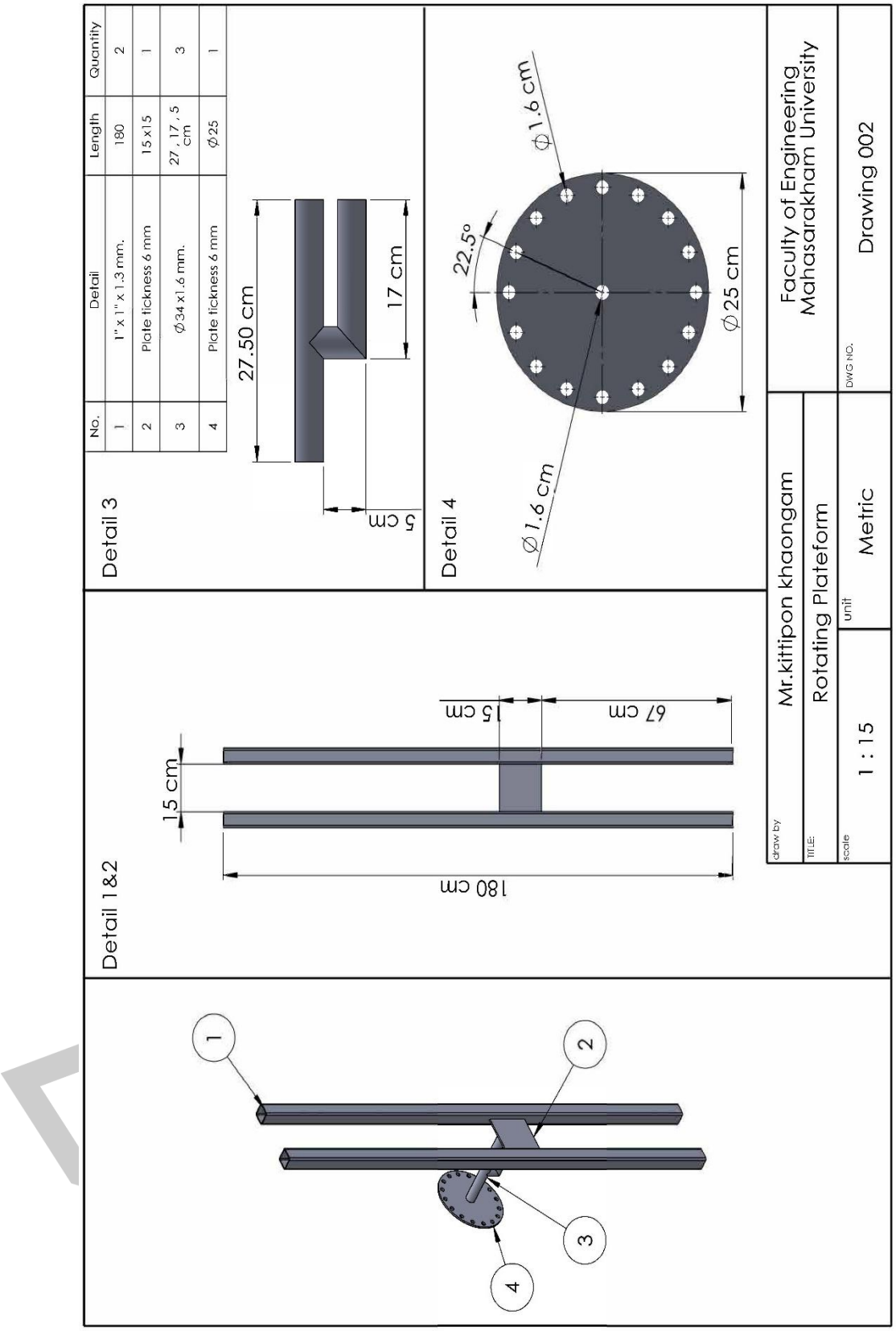
มุมเอียง °	T_{evap} (°C)	รูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหย	L_v (m)	u_g (m/s)	q(kW/m^2)
70 °	50 °C	-	-	-	0.30
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.1903	0.0291	0.83
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.2457	0.0265	1.38
80 °	50 °C	-	-	-	0.46
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.1932	0.0355	0.98
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.3035	0.0245	1.59
90 °	50 °C	-	-	-	0.15
	70 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.1911	0.0340	0.71
	90 °C	แบบฟอง+แบบโพรง	0.2889	0.0250	1.22



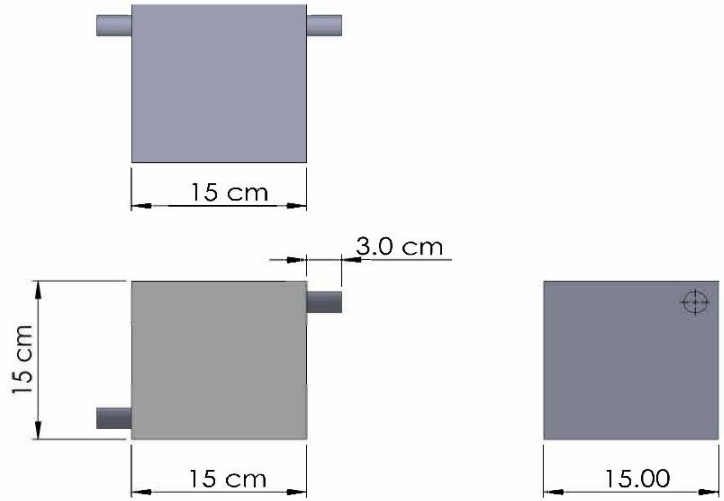
ภาคผนวก ค

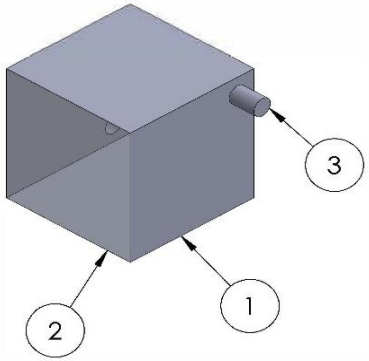
รายละเอียดชุดทดลอง


No. Detail Length Quantity
1 1" x 1" x 1.2 mm. 150 cm 4
2 1" x 1" x 1.2 mm. 69 cm 2
3 1" x 1" x 1.2 mm. 150 cm 2
4 1" x 1" x 1.2 mm. 195 cm 2
5 1" x 1" x 1.2 mm. 200 cm 1
6 1" x 1" x 1.2 mm. 50 cm 2
7 1" x 1" x 1.2 mm. 47 cm 2
8 1" x 1" x 1.2 mm. 41cm 4
1
2
3
4
5
6
7
8
Faculty of Engineering
Mahasarakham University
draw by
MR.kittipon khaongam
TITLE:
Experimentral Set
scale
1: 30
unit
Metric
DWG NO.
Drawing 001
150 cm
72
50 cm
47 cm
150 cm
DETAIL A
SCALE 1 : 5
ϕ1.69 cm
150 cm
48 cm
47 cm
195 cm
200 cm
101 cm
50 cm
A
50 cm
30 cm
30 cm


Detail 1&2
15 cm
180 cm
15 cm
67 cm
1
2
3
4
Detail 3
27.50 cm
17 cm
5 cm
Detail 4
Ø1.6 cm
22.5°
Ø25 cm
Ø1.6 cm
No. Detail Length Quantity
1 1" x 1" x 1.3 mm. 180 2
2 Plate tickness 6 mm 15 x15 1
3 Ø34 x1.6 mm. 27 , 17 , 5 cm 3
4 Plate tickness 6 mm Ø25 1
draw by Mr.kittipon khaongam
TITLE: Rotating Plateform
scale 1 : 15
unit Metric
DWG NO. Drawing 002
Faculty of Engineering
Mahasarakham University

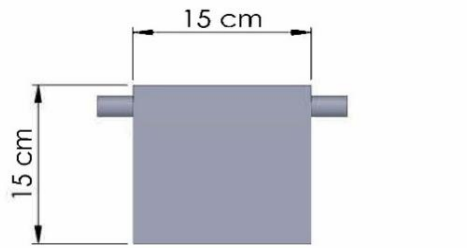
No.	Detail	Length	Quantity
1	SS304	15 x 15 cm	4
2	Glass	15 x15 cm	2
3	Pips 1/2 "	3 cm	2

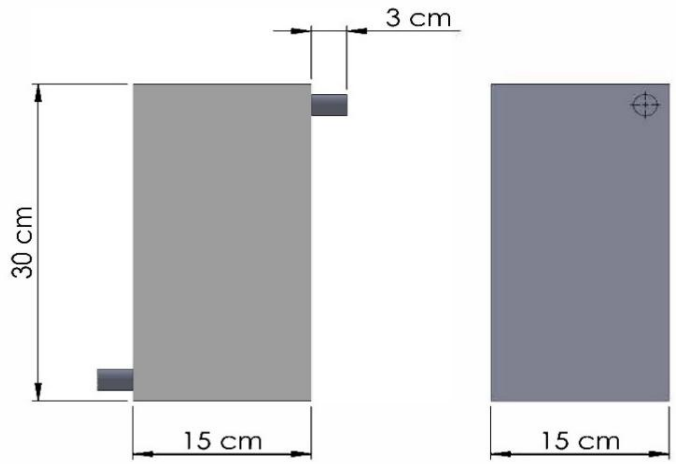


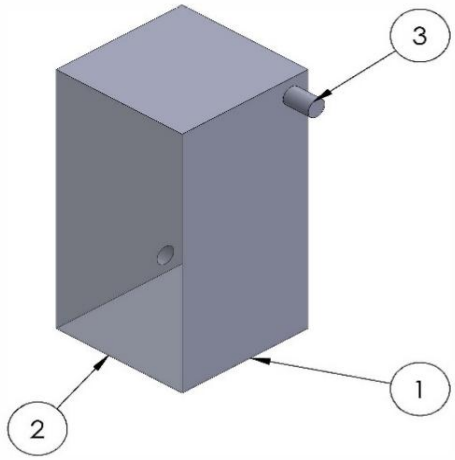


draw by: Mr.kittipon khaongam		Faculty of Engineering Mahasarakham University
TITLE: Cold Jecket & Hot Jecket		
scale: 1: 5	unit: Metric	DWG NO.: Drawing 003

No.	Detail	Length	Quantity
1	SS304	15 x 30 cm	4
2	Glass	15 x 30 cm	2
3	Pips 1/2 "	3 cm	2

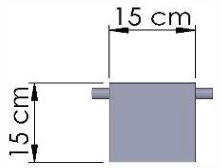


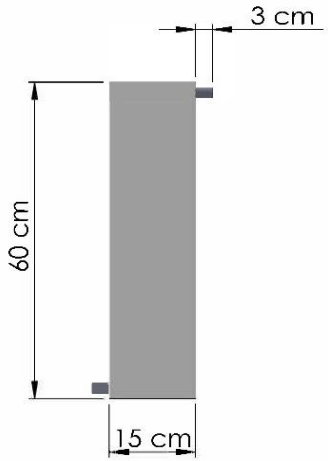




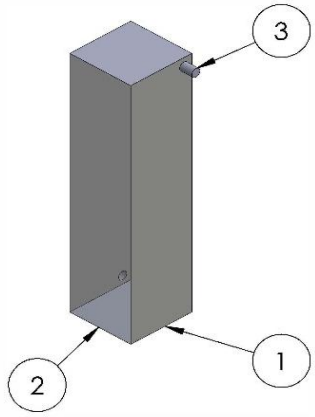
draw by: Mr.kittipon khaongam		Faculty of Engineering Mahasarakham University
TITLE: Cold Jecket & Hot Jecket		
scale: 1: 5	unit: Metric	DWG NO.: Drawing 004

No.	Detail	Length	Quantity
1	SS304	15 x 60 cm	4
2	Glass	15 x 60 cm	2
3	Pips 1/2 "	3 cm	2



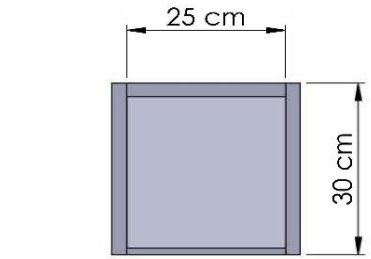


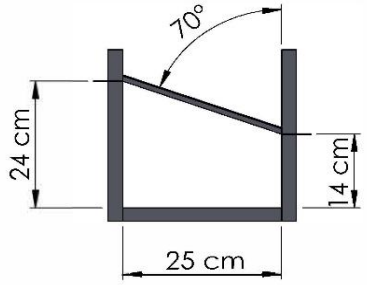


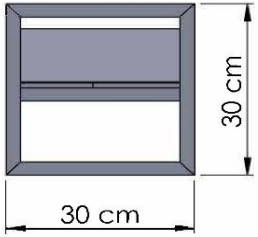


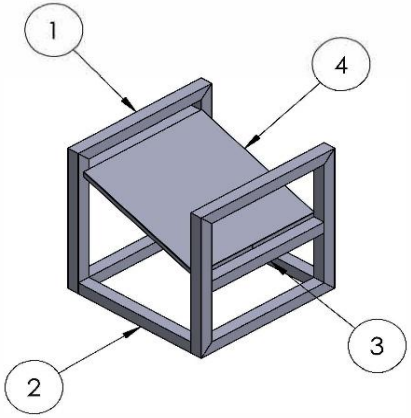
draw by: Mr.kittipon khaongam		Faculty of Engineering Mahasarakham University
TITLE: Cold Jecket & Hot Jecket		
scale: 1: 10	unit: Metric	DWG NO.: Drawing 005

No	Detail	Length	Quantity
1	1" x 1" x 1.6 mm.	30 cm	8
2	1" x 1" x 1.6 mm.	28 cm	2
3	1" x 1" x 1.6 mm.	25 cm	2
4	Plate 2 mm.	30 x 30 cm	1

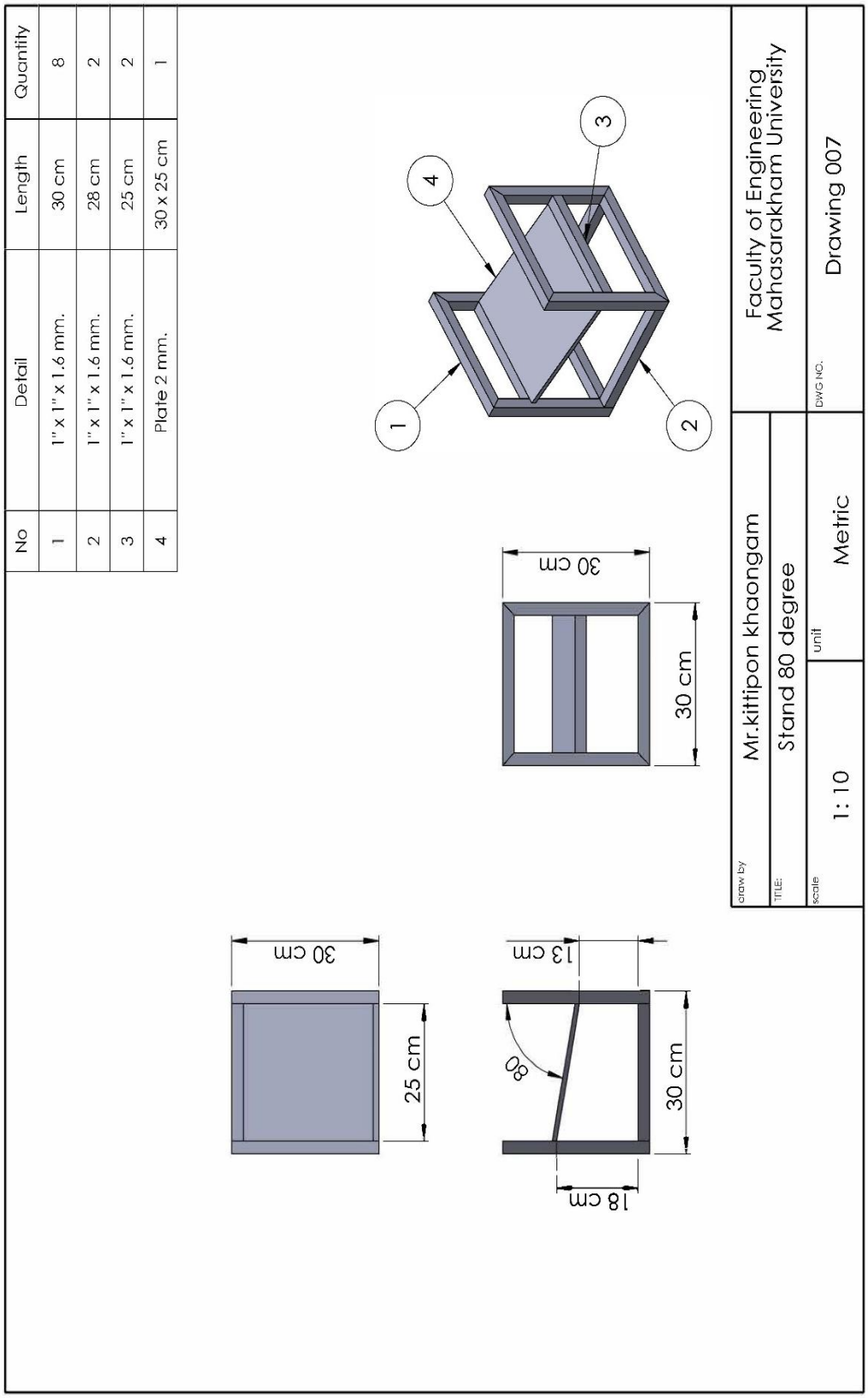




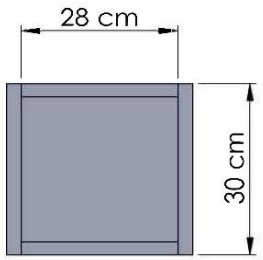


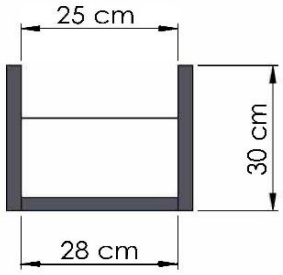


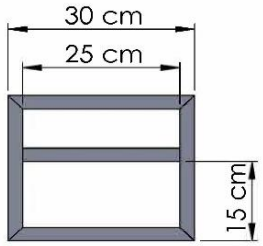
draw by: Mr.kittipon khaongam		Faculty of Engineering Mahasarakham University
TITLE: Stand 70 degree		
scale: 1: 10	unit: Metric	DWG NO.: Drawing 006

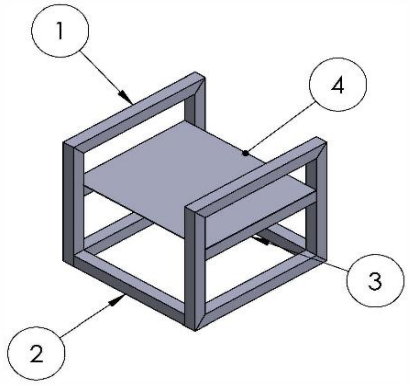

No
Detail
Length
Quantity
1
1" x 1" x 1.6 mm.
30 cm
8
2
1" x 1" x 1.6 mm.
28 cm
2
3
1" x 1" x 1.6 mm.
25 cm
2
4
Plate 2 mm.
30 x 25 cm
1
1
2
3
4
30 cm
30 cm
30 cm
25 cm
13 cm
80
30 cm
18 cm
draw by
Mr.kittipon khaongam
TITLE:
Stand 80 degree
scale
1: 10
unit
Metric
DWG NO.
Drawing 007
Faculty of Engineering
Mahasarakham University

No	Detail	Length	Quantity
1	1" x 1" x 1.6 mm.	30 cm	8
2	1" x 1" x 1.6 mm.	28 cm	2
3	1" x 1" x 1.6 mm.	25 cm	2
4	Plate 2 mm.	30 x 25 cm	1



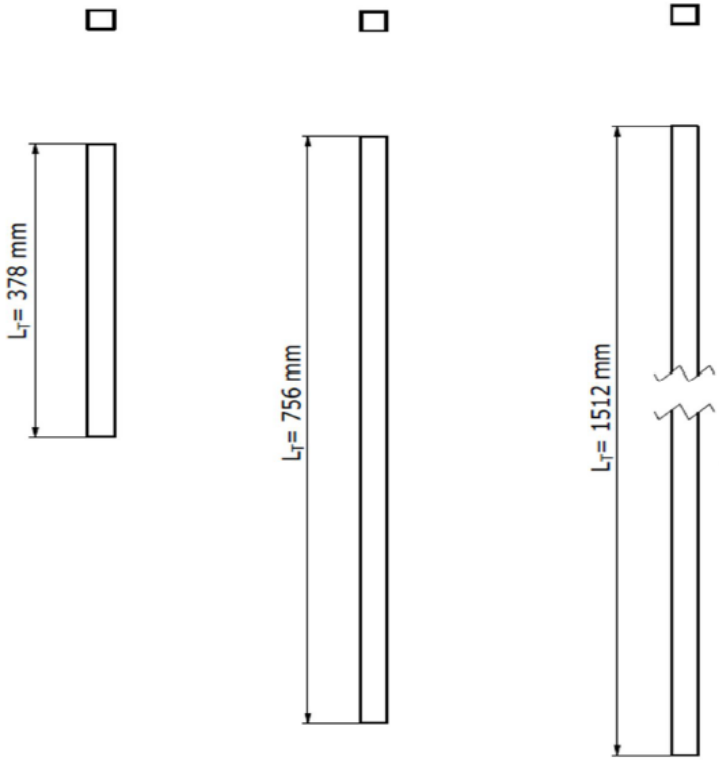


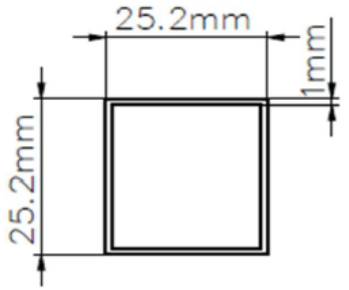




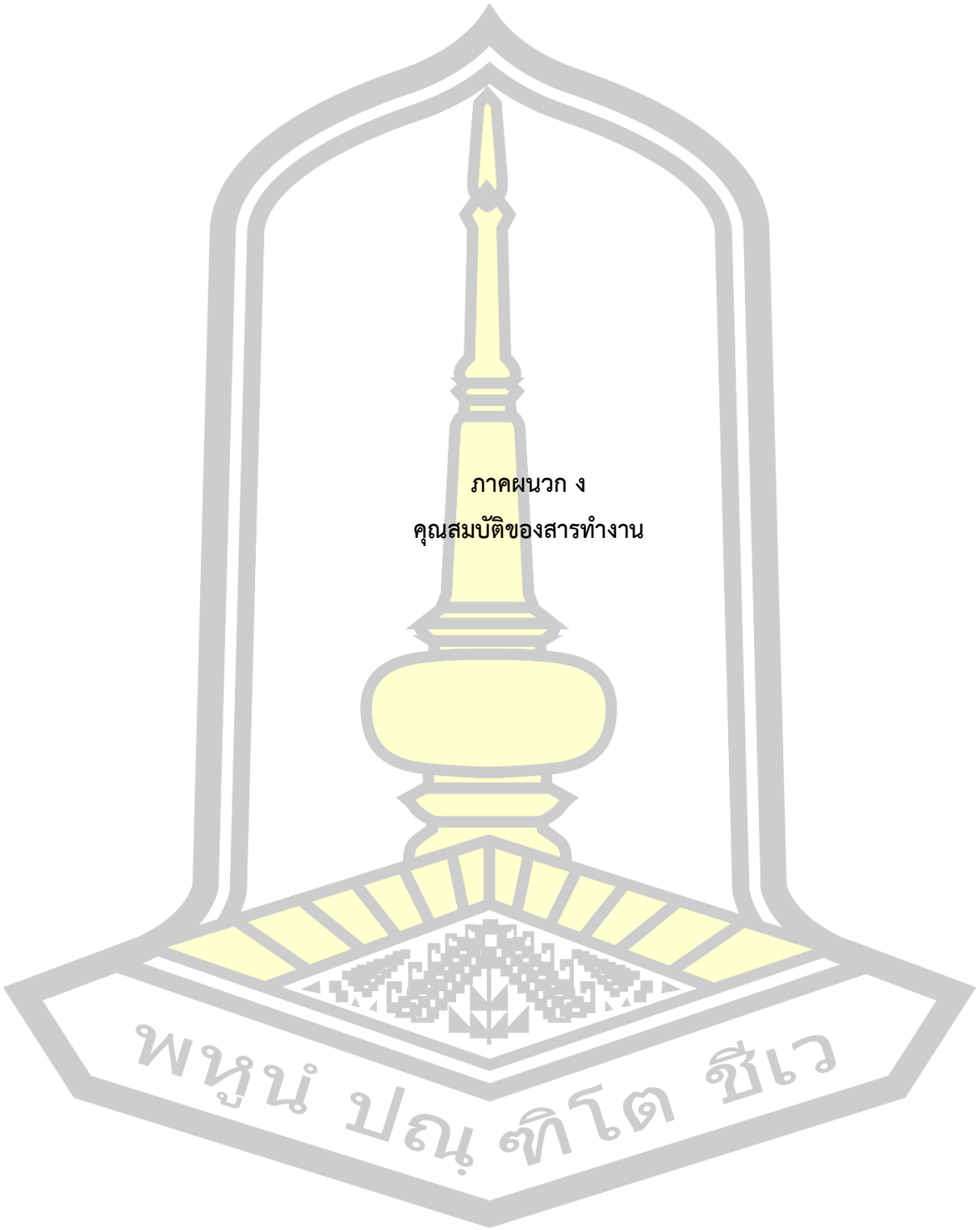
draw by: Mr.kittipon khaongam		Faculty of Engineering Mahasarakham University
TITLE: Stand 90 degree		
scale: 1: 10	unit: Metric	DWG NO.: Drawing 008

No	Detail	Length (mm)	Quantity
1	Square tube 1" x 1" x 1.1 mm	378	1
2	Square tube 1" x 1" x 1.1 mm	756	1
3	Square tube 1" x 1" x 1.1 mm	1512	1





draw by: Mr.kittipon khaongam		Faculty of Engineering Mahasarakham University
TITLE: Thermosyphon RTPCT		
scale: 1:1	unit: mm	DWG NO.: Drawing 009



ภาคผนวก ง
คุณสมบัติของสารทำงาน

ตาราง ง.19 คุณสมบัติของน้ำ [209]

Temp. °C	Pressure MPa	Density Kg/m³	Volume m³/kg	Enthalpy kJ/kg		Viscosity μ Pa.s		Specific Heat kJ/(kg.K)		Thermal C. mW/(m.K)		Surface Tension mN/m
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01a	0.00061	999.8	205.98	0.0	2500.5	1792.4	9.22	4.229	1.868	561.0	17.07	75.65
5.00	0.00087	999.9	147.02	21.0	2509.7	1519.1	9.34	4.200	1.871	570.5	17.34	74.95
10.00	0.00123	999.7	106.32	42.0	2518.9	1306.6	9.46	4.188	1.874	580.0	17.62	74.22
15.00	0.00171	999.1	77.900	62.9	2528.0	1138.2	9.59	4.184	1.878	589.3	17.92	73.49
20.00	0.00234	998.2	57.777	83.8	2537.2	1002.1	9.73	4.183	1.882	598.4	18.23	72.74
25.00	0.00317	997.0	43.356	104.8	2546.3	890.5	9.87	4.183	1.887	607.1	18.55	71.98
30.00	0.00425	995.6	32.896	125.7	2555.3	797.7	10.01	4.183	1.892	615.4	18.88	71.20
35.00	0.00563	994.0	25.221	146.6	2564.4	719.6	10.16	4.183	1.898	623.2	19.23	70.41
40.00	0.00738	992.2	19.528	167.5	2573.4	653.2	10.31	4.182	1.905	630.5	19.60	69.60
45.00	0.00959	990.2	15.263	188.4	2582.3	596.3	10.46	4.182	1.912	637.3	19.97	68.78
50.00	0.01234	998.0	12.037	209.3	2591.2	547.0	10.62	4.182	1.919	643.5	20.36	67.95
55.00	0.01575	985.6	9.5730	230.2	2600.0	504.1	10.77	4.182	1.928	649.2	20.77	67.10
60.00	0.01993	983.2	7.6746	251.2	2608.8	466.5	10.93	4.183	1.937	654.3	21.18	66.24
65.00	0.02502	980.5	6.1996	272.1	2617.5	433.4	11.10	4.184	1.947	658.9	21.62	65.37
70.00	0.03118	977.8	5.0447	293.0	2626.1	404.0	11.26	4.187	1.958	663.1	22.07	64.49
75.00	0.03856	974.8	4.1333	314.0	2634.6	377.8	11.42	4.190	1.970	666.7	22.53	63.59
80.00	0.04737	971.8	3.4088	334.9	2643.1	354.5	11.59	4.194	1.983	670.0	23.01	62.68
85.00	0.05781	968.6	2.8289	355.9	2651.4	333.4	11.76	4.199	1.996	672.8	23.50	61.76
90.00	0.07012	965.3	2.3617	376.9	2659.6	314.5	11.93	4.204	2.011	675.3	24.02	60.82
95.00	0.08453	961.9	1.9828	398.0	2667.7	297.4	12.10	4.210	2.027	677.4	24.55	59.88
100.00	0.10132	958.4	1.6736	419.1	2675.7	281.8	12.27	4.217	2.044	679.1	25.09	58.92
105.00	0.12079	954.8	1.4200	440.2	2683.6	267.7	12.44	4.224	2.062	680.6	25.66	57.95
110.00	0.14324	951.0	1.2106	461.3	2691.3	254.8	12.61	4.232	2.082	681.7	26.24	56.97
115.00	0.16902	947.1	1.0370	482.5	2698.8	243.0	12.78	4.240	2.103	682.6	26.84	55.98
120.00	0.19848	943.2	0.89222	503.8	2706.2	232.1	12.96	4.249	2.126	683.2	27.46	54.97
125.00	0.23201	939.1	0.77089	525.1	2713.4	222.2	13.13	4.258	2.150	683.6	28.10	53.96
130.00	0.27002	934.9	0.66872	546.4	2720.4	213.0	13.30	4.268	2.176	683.7	28.76	52.94
135.00	0.31293	930.6	0.58234	567.8	2727.2	204.5	13.47	4.278	2.203	683.6	29.44	51.91
140.00	0.36119	926.2	0.50898	589.2	2733.8	196.6	13.65	4.288	2.233	683.3	30.13	50.86
145.00	0.41529	921.7	0.44643	610.8	2740.2	189.3	13.82	4.300	2.265	682.8	30.85	49.81
150.00	0.47572	917.1	0.39287	632.3	2746.4	182.5	13.99	4.312	2.299	682.1	31.59	48.75
155.00	0.54299	912.3	0.34681	654.0	2752.3	176.2	14.16	4.325	2.335	681.1	32.35	47.68
160.00	0.61766	907.5	0.30709	675.6	2758.0	170.3	14.34	4.338	2.374	680.0	33.12	46.60
165.00	0.70029	902.6	0.27270	697.4	2763.3	164.8	14.51	4.353	2.415	678.6	33.92	45.51
170.00	0.79147	897.5	0.24283	719.3	2768.5	159.6	14.68	4.369	2.460	677.1	34.74	44.41
175.00	0.89180	892.3	0.21679	741.2	2773.3	154.7	14.85	4.386	2.507	675.3	35.58	43.31

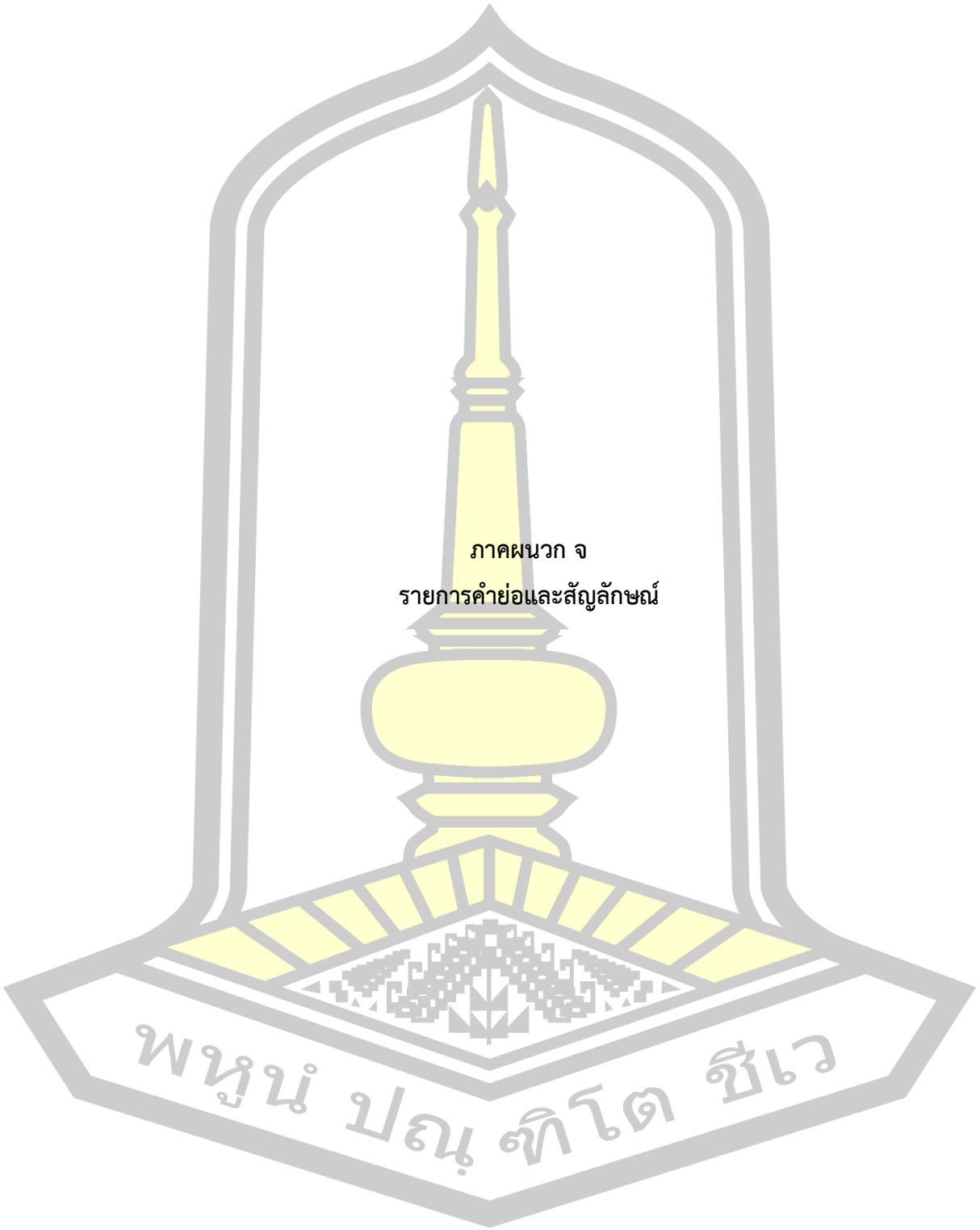
ตาราง ง.20 คุณสมบัติของน้ำ (ต่อ) [209]

Temp. °C	Pressure MPa	Density Kg/m³	Volume m³/kg	Enthalpy kJ/kg		Viscosity μ Pa.s		Specific Heat kJ/(kg.K)		Thermal C. mW/(m.K)		Surface Tension mN/m
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
180.00	1.0019	887.1	0.19403	763.2	2777.8	150.2	15.02	4.403	2.558	673.4	36.44	42.20
185.00	1.1225	881.7	0.17406	785.4	2782.0	145.9	15.20	4.423	2.612	671.2	37.32	41.08
190.00	1.2542	876.1	0.15650	807.6	2785.8	141.8	15.37	4.443	2.670	668.8	38.23	39.95
195.00	1.3976	870.5	0.14102	829.9	2789.4	138.0	25.54	4.465	2.731	666.2	39.15	38.82
200.00	1.5536	864.7	0.12732	852.4	2792.5	134.4	15.71	4.489	2.797	663.4	40.10	37.68
205.00	1.7229	858.9	0.11517	875.0	2795.3	130.9	15.89	4.515	2.867	660.3	41.08	36.54
210.00	1.9062	852.8	0.10438	897.7	2797.7	127.6	16.06	4.542	2.943	657.1	42.07	35.39
215.00	2.1042	846.6	0.09475	920.5	2799.7	124.5	16.23	4.572	3.023	653.5	43.10	34.24
220.00	2.3178	840.3	0.08615	943.5	2801.3	121.6	16.41	4.604	3.109	649.8	44.15	33.08
225.00	2.5479	833.9	0.07846	966.7	2802.4	118.7	16.59	4.638	3.201	645.7	45.24	31.91
230.00	2.7951	827.2	0.07155	990.0	2803.1	116.0	16.76	4.675	3.300	641.4	46.35	30.75
235.00	3.0604	820.5	0.06534	1013.5	2803.3	113.4	16.94	4.715	3.405	636.9	47.51	29.58
240.00	3.3447	813.5	0.05974	1037.2	2803.0	110.9	17.12	4.759	3.519	632.0	48.70	28.40
245.00	3.6488	806.4	0.05469	1061.2	2802.1	108.5	17.31	4.806	3.641	626.8	49.94	27.23
250.00	3.9736	799.1	0.05011	1085.3	2800.7	106.2	17.49	4.857	3.772	621.4	51.22	26.05
255.00	4.3202	791.5	0.04596	1109.7	2798.8	103.9	17.68	4.912	3.914	615.6	52.57	24.88
260.00	4.6894	783.8	0.04219	1134.4	2796.2	101.7	17.88	4.973	4.069	609.4	53.98	23.70
265.00	5.0823	775.9	0.03876	1159.3	2793.0	99.6	18.07	5.039	4.236	603.0	55.47	22.52
270.00	5.4999	767.7	0.03564	1184.6	2789.1	97.5	18.28	5.111	4.418	596.1	57.04	21.35
275.00	5.9431	759.2	0.03278	1210.1	2784.5	95.5	18.48	5.191	4.617	588.9	58.72	20.17
280.00	6.4132	750.5	0.03016	1236.1	2779.2	93.6	18.70	5.279	4.835	581.4	60.52	19.00
285.00	6.9111	741.5	0.02777	1262.4	2773.0	91.6	18.92	5.377	5.077	573.5	62.47	17.84
290.00	7.4380	732.2	0.02556	1289.1	2765.9	89.7	19.15	5.485	5.345	565.2	64.59	16.68
295.00	7.9952	722.5	0.02354	1316.3	2757.8	87.8	19.39	5.607	5.644	556.6	66.91	15.52
300.00	8.5838	712.4	0.02167	1344.1	2748.7	85.9	19.65	5.746	5.981	547.7	69.49	14.37
310.00	9.8605	691.0	0.01834	1401.2	2727.0	82.2	20.21	6.084	6.799	529.0	75.61	12.10
320.00	11.279	667.4	0.01548	1461.3	2699.7	78.4	20.84	6.542	7.898	509.4	83.59	9.88
330.00	12.852	641.0	0.01298	1525.0	2665.3	74.6	21.60	7.201	9.458	489.2	94.48	7.71
340.00	14.594	610.8	0.01079	1593.8	2621.3	70.4	22.55	8.238	11.865	468.6	110.20	5.64
350.00	16.521	574.7	0.00881	1670.4	2563.5	65.9	23.81	10.126	16.110	447.6	134.65	3.68
360.00	18.655	528.1	0.00696	1761.0	2482.0	60.4	25.71	14.690	25.795	427.2	178.01	1.89
370.00	21.030	453.1	0.00499	1889.7	2340.2	52.3	29.57	41.955	78.751	428.0	299.38	0.39
373.99c	22.064	322.0	0.00311	2085.9	2085.9	43.1	43.13	∞	∞	∞	∞	0

ตาราง ง.21 คุณสมบัติของเอทานอล Ethanol [210]

Temp. ^{O}C	Pressure MPa	h_{fg} Latent kJ/kg	ρ_l Liquid 10^3 kg/m^3	ρ_v Vapor kg/m^3	μ_l Liquid 10^{-3} N.s/m^2	μ_v Vapor 10^{-5} N.s/m^2	K_l Liquid W/m.K	K_v Vapor W/m.K	σ Liquid 10^{-3} N/m	$C_{P,l}$ Liquid kJ/kg.K	$C_{P,V}$ Vapor kJ/kg.K
0	0.012	1048.4	0.901	0.036	1.7990	0.774	0.183	0.0117	24.4	0.541	1.34
20	0.058	1030.0	0.800	0.085	1.1980	0.835	0.179	0.0139	22.8	0.574	1.40
40	0.180	1011.9	0.789	0.316	0.8190	0.900	0.175	0.160	21.0	0.615	1.48
60	0.472	988.9	0.770	0.748	0.5880	0.959	0.171	0.0179	19.2	0.665	1.54
80	1.086	960.0	0.757	1.430	0.4320	1.030	0.169	0.0199	17.3	0.723	1.61
100	2.260	927.0	0.730	3.410	0.3180	1.092	0.167	0.0219	15.5	0.789	1.68
120	4.290	885.5	0.710	6.010	0.2430	1.157	0.165	0.0238	13.4	0.863	1.75
140	7.530	834.0	0.680	10.670	0.1900	1.219	0.163	0.0256	11.2	0.945	-
160	12.756	772.9	0.650	17.450	0.1500	1.293	0.161	0.0272	9.0	-	-
180	19.600	698.8	0.610	27.650	0.1200	1.369	0.159	0.0288	6.7	-	-
200	29.400	598.3	0.564	44.480	0.0950	1.464	0.157	0.0395	4.3	-	-
220	42.800	468.5	0.510	74.350	0.0725	1.618	0.155	0.0321	2.2	-	-
240	60.200	280.5	0.415	135.500	0.0488	1.948	0.153	-	0.1	-	-

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาคผนวก จ
รายการคำย่อและสัญลักษณ์

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

รายการคำย่อ	ความหมาย
TPCT	ย่อมาจาก The two-phase closed circular cross sectional thermosyphon
DGCST	ย่อมาจาก The difference geometric cross sectional area thermosyphon
RTPCT	ย่อมาจาก The two-phase closed rectangular cross sectional thermosyphon

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
NP	คือ น้ำปราศจากไอออน (DI) ผสมผงเงินระดับอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 wt%	-
OA	คือ กรดโอเลอิก	-
OAK^+	คือ โพแทสเซียมโอลีเอต	-
FL	คือ การไหลแบบผันผวน (Fluctuation) (FL)	-
DW	คือ การไหลแบบหยด (Dropwise) (DW)	-
FW	คือ การไหลแบบฟิล์ม (Filmwise) (FW)	-
RV	คือ การไหลแบบย้อนกลับ (Rivulets) (RV)	-
BF	คือ การไหลแบบฟอง (Bubble flow) (BF)	-
SF	คือ การไหลแบบก้อง (Slug flow) (SF)	-
CF	คือ การไหลแบบโพรง (Churn flow) (CF)	-
AF	คือ การไหลแบบวงแหวน (Annular flow) (AF)	-
STF	คือ การไหลแบบแยกชั้น (Stratified flow) (STF)	-
FR	คือ อัตราการเติมสาร	%
wt%	คือ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight percent)	%
L_T	คือ ความยาวรวมของเทอร์โมไซฟอน RTPCT	m
L_c	คือ ความยาวของส่วนควบแน่น	m
L_a	คือ ความยาวของส่วนกันความร้อน	m
L_e	คือ ความยาวของส่วนทำระเหย	m
T_{so}	คือ อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน	℃
T_{si}	คือ อุณหภูมิแหล่งรับความร้อน	℃
AI	คือ มุมเอียงของเทอร์โมไซฟอน RTPCT	°

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
G	คือ ค่าฟลักซ์มวลของการไหลสองสถานะ	kg/s.m^2
G_g	คือ ค่าฟลักซ์มวลของไอ	kg/s.m^2
G_l	คือ ค่าฟลักซ์มวลของของเหลว	kg/s.m^2
g	คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
$\dot{m}$	คือ อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
$Q_{incline}$	คือ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนในแนวเอียง	W
$Q_{vertical}$	คือ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนในแนวดิ่ง	W
$Z_{incline}$	คือ ค่าความต้านทานความร้อนในแนวเอียง	°C/W
$Z_{vertical}$	คือ ค่าความต้านทางความร้อนในแนวดิ่ง	°C/W
$f(\beta)$	คือ ฟังก์ชันมุมเอียง	-
Q_{th}	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในทางทฤษฎี	W
ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อน และแหล่งรับความร้อน	°C
Z_{total}	คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนรวมทั้งหมดของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม	°C/W
h_{eo}	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ส่วนรับความร้อนภายนอกท่อความร้อน	W/m^2·°C
h_{co}	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ส่วนระบายความร้อนภายนอกท่อความร้อน	W/m^2·°C
A_{eo}	คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดของส่วนทำระเหย	m^2
A_{co}	คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดของส่วนควบแน่น	m^2
D_i	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อความร้อน	m
D_o	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อความร้อน	m
L_e	คือ ความยาวส่วนทำระเหยของท่อความร้อน	m
L_c	คือ ความยาวส่วนควบแน่นของท่อความร้อน	m
Φ_3	คือ ค่าคงที่ของสารทำงาน Figure of merit	-
L	คือ ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ	J/kg
μ_l	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์ของของเหลว	m/s

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
C_{pl}	คือ ค่าความจุความร้อนของสารทำงานในสถานะของเหลว	m/s
ρ_l	คือ ความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะก๊าซ	kg/m^3
p_v	คือ ความดันไอของสารทำงาน	Pa
p_a	คือ ความดันบรรยากาศมีค่า 101.3	KPa
L, h_{fg}	คือ ค่าความร้อนแฝงของสารทำงาน	J/kg
k_l	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสารทำงานในสถานะของเหลว	W/m ℃
ρ_l	คือ ความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของเหลว	kg/m^3
μ_l	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของสารทำงานในสถานะของเหลว	m/s
V_l	คือ ปริมาตรของสารทำงานที่เติมของเหลวในเทอร์โมไซฟอนขณะยังไม่ได้ทำงาน	m^3
A	คือ พื้นที่หน้าตัดขวางของเทอร์โมไซฟอนสี่เหลี่ยม	m^2
D_i	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเทอร์โมไซฟอน	m
C	คือ ค่าคงที่ ซึ่ง $C = (1/3)(3/\pi)^{4/3}$	-
Φ_2	คือ ค่าคงที่ของสารทำงาน Figure of merit	-
L_a	คือ ความยาวส่วนกันความร้อน	m
A_x	คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อความร้อน	m^2
k_x	คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำท่อ	W/mK
ΔT	คือ ปัจจัยความแตกต่างของอุณหภูมิ ($T_{so} - T_{si} = \Delta T_h$)	℃
T_{so}	คือ อุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อน	℃
T_{si}	คือ อุณหภูมิที่แหล่งให้ความเย็น	℃
ΔT_h	คือ ค่าเฉลี่ยความแตกต่างอุณหภูมิเนื่องจาก Hydrostatic head	-
A_e	คือ พื้นที่ภายในของส่วนทำระเหย $A_e = \pi D_o L_e$	m^2
σ	คือ แรงตึงผิวของสารทำงาน	N/m
AR	คือ อัตราส่วนสนทัด	-
L_e	คือ ความยาวในส่วนทำระเหย	m
D_i	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	m

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
R_h	คือ รัศมีไฮดรอลิกส์	m
X	คือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)	m
Y	คือ ความยาวของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (RTPCT)	m
W_P	คือ เส้นสัมผัสเปียก	m
A	คือ พื้นที่หน้าตัดขวาง	m^2
G	คือ ค่าฟลักซ์มวล	kg/m^2s
x	คือ ค่าคุณภาพไอ	-
u_l	คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของของเหลว	m/s
u_g	คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ	m/s
ρ_g	คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะไอ	kg/m^3
ρ_l	คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของของเหลว	kg/m^3
G_l	คือ ค่าฟลักซ์มวลของของเหลว	kg/m^2s
G_g	คือ ค่าฟลักซ์มวลของไอ	kg/m^2s
u_l	คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของเหลว	m/s
u_g	คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ	m/s
$\dot{V}_l$	คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะของของเหลว	m^3/s
$\dot{V}_g$	คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะไอ	m^3/s
A_s	คือ ค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลของสารทำงาน	m^2
h_{TP}	คือ ค่าเอนทาลปีของสองสถานะ	J/kg
h_l	คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะของของเหลว	J/kg
h_g	คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะไอ	J/kg
v_{TP}	คือ ค่าปริมาตรจำเพาะของสองสถานะ	m^3/kg
v_l	คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะของของเหลว	m^3/kg
v_g	คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะไอ	m^3/kg
Bo	คือ ตัวเลขบอนด์	-
d_i	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อน RTPCT	m

พหุปยุตฺโต ชีเว

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง	m/s^2
ρ_l	คือ ความหนาแน่นของเหลว	kg/m^3
ρ_v	คือ ความหนาแน่นของไอ	kg/m^3
σ	คือ แรงตึงผิว	N/m
Ja	คือ ตัวเลขจาคอบ	-
h_{fg}	คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	J/kg
Cp_l	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของสาร	J/kg.K
T_v	คือ อุณหภูมิไอ	°C
P_r	คือ ตัวเลขพรันด์เทิล	-
μ_l	คือ ความหนืด	Pa.s
Cp_l	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของสาร	J/kg.K
K_l	คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเหลว	W/m.K
Co	คือ คอนเดนเซชัน	-
h	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	$W/m^2.K$
k	คือ การนำความร้อน	W/m.K
μ	คือ ความหนืด	Pa.s
ρ	คือ ความหนาแน่นของของเหลว	kg/m^3
TC	คือ Thermocouple, ตำแหน่งวัดอุณหภูมิของเทอร์โมไซฟอน (RTPCT)	°C
$T_{1\ h\ in}$	คือ อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าส่วนทำระเหยของ (RTPCT)	°C
$T_{2\ h\ out}$	คือ อุณหภูมิน้ำก่อนออกส่วนทำระเหยของ (RTPCT)	°C
T_3	คือ อุณหภูมิผิวท่อส่วนกันความร้อนของ (RTPCT)	°C
T_4	คือ อุณหภูมิผิวท่อส่วนกันความร้อนของ (RTPCT)	°C
$T_{5\ c\ in}$	คือ อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าส่วนควบแน่นของ (RTPCT)	°C
$T_{6\ c\ out}$	คือ อุณหภูมิน้ำก่อนออกส่วนควบแน่นของ (RTPCT)	°C
Q_{cool}	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนจากส่วนควบแน่น	W
Q_{ave}	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย	W

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Q_{max}	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด	W
$\dot{m}$	คือ ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำอุณหภูมิต่ำทางด้านส่วนควบแน่น	kg/s
C_p	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารรับความร้อน (น้ำ)	J/kg.°C
$T_{c,out}$	คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำขาออกที่ส่วนควบแน่น	°C
$T_{c,in}$	คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำขาเข้าที่ส่วนควบแน่น	°C
Q_{hot}	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ให้ส่วนทำระเหย	W
$\dot{m}$	คือ ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำอุณหภูมิสูงทางด้านส่วนทำระเหย	kg/s
$T_{e,in}$	คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำขาเข้าที่ส่วนทำระเหย	°C
$T_{e,out}$	คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำขาออกที่ส่วนทำระเหย	°C
q	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่	W/m^2
q_{ave}	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย	kW/m^2
A_c	คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดในส่วนควบแน่น	m^2
$Qerror$	คือ ค่าความไวรวมของ Q ต่อตัวแปรป้อนเข้า	1/W
$\dot{m}$	คือ อัตราการไหลของมวลของของเหลวเย็น	kg/s
Tc,out	คือ อุณหภูมิของของเหลวเย็นที่ออกจากระบบ	°C หรือ K
Tc,in	คือ อุณหภูมิของของเหลวเย็นที่เข้าสู่ระบบ	°C หรือ K
$\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}}$	คือ อนุพันธ์ของ Q ตาม $\dot{m}$	W·s/kg
$\frac{\partial Q}{\partial Tc,out}$	คือ อนุพันธ์ของ Q ตาม Tc,out	W/K
$\frac{\partial Q}{\partial Tc,in}$	คือ อนุพันธ์ของ Q ตาม Tc,in	W/K
R	คือ ค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อน	°C/W
T_{evap}	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนทำระเหย	°C
T_{con}	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยส่วนควบแน่น	°C
$\dot{Q}_e$	คือ ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากส่วนทำระเหย	W
η	คือ ค่าประสิทธิภาพ	-

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$\dot{Q}_c$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนถ่ายโอนจากส่วนควบแน่นไปยังน้ำเย็น	W
$\dot{Q}_e$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนซึ่งส่วนทำระเหยดูดซับจากน้ำร้อน	W
L_v	คือ ความยาวเฉลี่ยของฟองไอ	m
u_g	คือ ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ	m/s
L_g	คือ ความยาวของฟอง	m
TPCT	คือ เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดกลมแบบปิดสองสถานะ	-
DGCST	คือ เทอร์โมไซฟอนที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด	-
RTPCT	คือ เทอร์โมไซฟอนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบปิดสองสถานะ	-

ตัวกำกับล่าง	ความหมาย
l	คือ ของเหลว
v	คือ ไอ
f	คือ ฟิล์ม
p	คือ แอ่ง
x	คือ ระยะ x
h	คือ ของไหลร้อน
c	คือ ของไหลเย็น
i	คือ ด้านใน
exper	คือ การทดลอง
ther	คือ ทฤษฎี
in	คือ ไหลเข้า
out	คือ ไหลออก
cr	คือ พื้นที่หน้าตัด
min	คือ ค่าต่ำสุด
max	คือ ค่าสูงสุด
act	คือ ค่าจริง

พหน ปณ ฑิโต ชีเว

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	กิตติพล ขาวงาม
วันเกิด	วันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 420/1 ถนนกลางเมือง ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2544 ประถมศึกษา โรงเรียนเทศบาลวัดกลาง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2547 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเทศบาลวัดกลาง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2550 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ป.ว.ช) สาขาวิชาเครื่องมือกลและซ่อมบำรุง วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น พ.ศ. 2552 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ป.ว.ส) สาขาวิชาช่างกลโรงงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น พ.ศ. 2554 ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ-เชื่อมประกอบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น พ.ศ. 2559 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น พ.ศ. 2568 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผลงานวิจัย	K. Khaongam, T. Chompookham, and T. Parametthanuwat, “Internal flow pattern of the condenser section that affects the heat transfer characteristics of rectangular two-phase closed thermosyphon,” Case Studies in Thermal Engineering, pp. 106246–106246, May 2025, doi: 10.1016/j.csite.2025.106246.